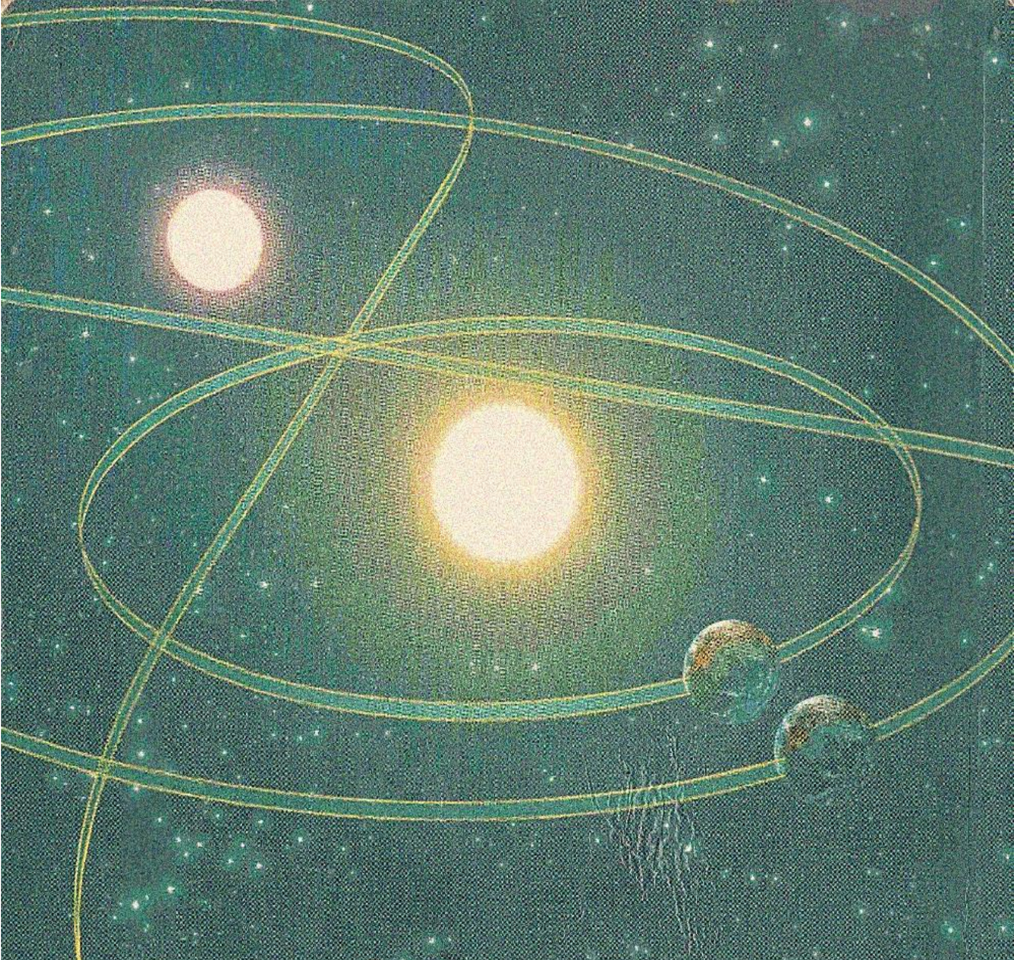


ستيفن هوكينج

ليونارد مولدينوو

التصميم العظيم

إجابات جديدة على أسئلة الكون الكبرى

التَّصميمُ العَظيم

إجابات جديدة على أسئلة الكون الكبرى

تأليف

ستيفن هوكينج

ليونارد ملودينوو

ترجمة

أيمن أحمد عياد

الكتاب: التصميم العظيم/ إجابات جديدة على أسئلة الكون الكبرى
المؤلف: ستيفن هوكينج/ ليونارد ملودينوو
ترجمة: أيمن أحمد عياد
عدد الصفحات: 224 صفحة

رقم الإيداع: 9989/2013
الترقيم الدولي:978-9973-33-403-9
الطبعة الأولى: 2013

هذه ترجمة لكتاب: **The Grand Design**
by Stephen Hwicing/ Leonard Mlodinow

الناشر:
دار التنوير للطباعة والنشر ©.
لبنان: بيروت ـ الجناح ـ مقابل السلطان إبراهيم
سنتر حيدر التجاري ـ الطابق الثاني ـ هاتف وفاكس 9611843340+
مصر: القاهرة ـ وسط البلد ـ 8 شارع قصر النيل ـ الدور الأول ـ شقة 10
هاتف: 27738931(2)20+ - 7332225(100)20+ فاكس:27738932(2)20+
تونس: 24 نهج سعيد أبو بكر (ط 3) هاتف/ فاكس: 21671333714+
البريد الإليكتروني: info@dar-altanweer.com
الموقع الإليكتروني: www.dar-altanweer.com

دار محمّد علي للنّشر © :
نهج محمّد الشّعبوني – عمارة زرقاء اليمامة – 3027 صفاقس، تونس.
الهاتف: 00216/74407440 الفاكس: 00216/74407441
البريد الألكترونيّ:edition.medali@tunet.tn
الموقع الألكترونيّ:www.edition-medali.com
رقم النّاشر:16-484/13

المحتويات

إن للكون تصميمًا، وكذلك هذا الكتاب. لكن على خلاف الكون فإن الكتاب لا يظهر تلقائيًا من العدم. فالكتاب يحتاج إلى خالق، وهذا الدور لا يقع على كاهل المؤلف وحده. لذلك فإننا أولًا وبشكل أساسي نود أن نقدم الشكر والعرفان لمحررينا، بيث راشبوم وآن هاريس، على صبرهما غير المحدود. فقد كانا طالبَيْن عندما احتجنا طلابًا، ومعلمَيْن عندما احتجنا معلمين، وكانا محفزين لنا عندما احتجنا تحفيزًا. لقد عكفا على مخطوطة النص وأديا واجبهما بسعادة وثقة، سواء تركزت المناقشة على وضع فاصلة أو استحالة تضمين سطح سالب الانحناء وغير متناسق في الفضاء المسطح. نود أن نشكر أيضًا مارك هيلليري الذي قرأ بكرم بالغ كثيرًا من المخطوطة وقدم لنا نصائح قيمة، وكارول لوفنشتين التي قدمت الكثير من أجل التصميم الداخلي للكتاب، وديفيد ستيفنسون الذي أكمل تصميم الغلاف، ولورين نوفيك التي لولا اهتمامها بالتفاصيل لوقعنا في أخطاء مطبعية لم نكن نرغب في حدوثها. وإلى بيتر بولينجر: نتقدم

لك بكثير من العرفان لمزجك بين العلم والفن من خلال رسومك التوضيحية ولاجتهادك في التأكد من دقة كل التفاصيل. وإلى سيدني هاريس: شكرًا لك على رسومك الكاريكاتورية الرائعة، ولحساسيتك الكبيرة بالمواضيع التي تجابه العلماء، فقد تكون عالم فيزياء في كون آخر. نحن أيضًا ممتنّان لعملائنا آل زوكرمان وسوزان جينسبرج على دعمهما وتشجيعهما، وإن كانت هناك رسالتان كانا يقدمانها باستمرار وهما "لقد حان الوقت للانتهاء من الكتاب فعلًا" و"لا تقلقا بشأن متى ستنتهيان من الكتاب فقد فعلتما ذلك أخيرًا" لقد كانا حصيفين بما يكفي لمعرفة متى يقولان رأيهما. وفي النهاية، كل الشكر لمساعد ستيفن هوكينج الشخصي، جوديث كروسديل، على معاونته بالكمبيوتر وسام بلاكبيرن وجون جودوين. فلم يقدموا دعمًا معنويا وحسب لكن دعما عمليًا وتقنيًا لولاه ما تمكنا من كتابة هذا الكتاب. والأكثر من هذا أنهم كانوا يعرفون دومًا أين يجدون أفضل الحانات.



الفصل الأول

لُغزُ الوجود

يُوجدُ كلٌّ منَّا لفترة وجيزة، نستكشف خلالها جزءًا ضئيلًا من الكون وحسب. لكنَّنا كبشر كائناتٌ فضولية؛ نحن نتساءل ونُفتِّش عن الأجوبة. نحيا في هذا الكون الهائل الذي يُعدُّ بدوره رحيمًا وقاسيًا في الوقت نفسه ونُحدِّق للأعلى باتِّجاه السماوات الشاسعة. وعادةً ما يسأل الناس عددًا من الأسئلة مثل: كيف يمكنُنا فَهمَ العالم الذي وَجَدنَا أنفسنا فيه؟ كيف يتصرَّف الكون؟ ما حقيقةُ الواقع؟ من أين أتى كُلُّ ذلك؟ هل الكون كان بحاجةٍ لخالق؟ معظمنا يمضي وقتَه في قلق بشأن تلك الأسئلة، لكنَّنا جميعًا قلقون بشأنها بعضَ الوقت.

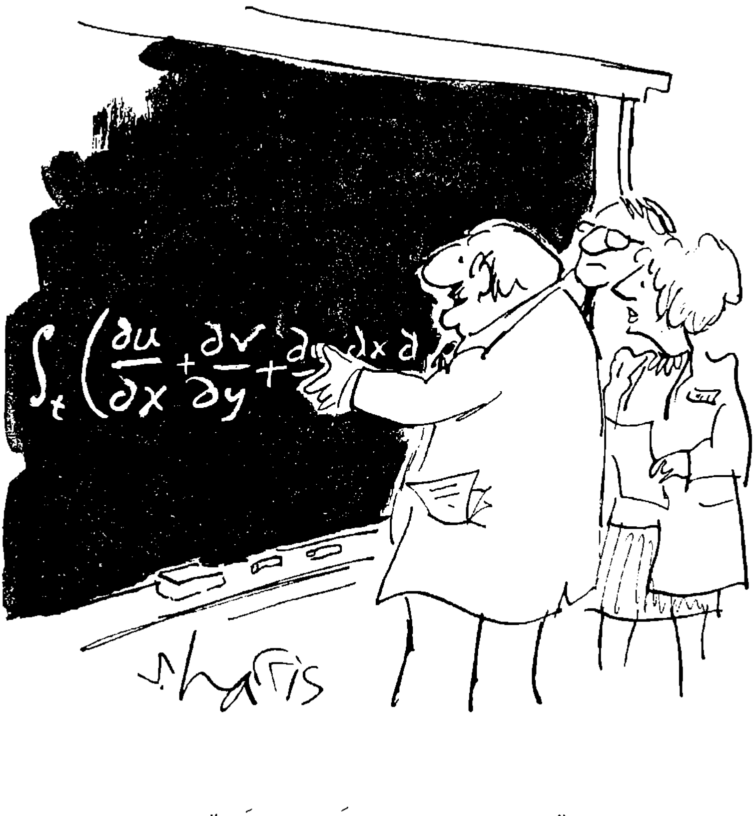
كانت تلك هي الأسئلة التقليدية للفلسفة، لكنَّ الفلسفة قد ماتت ولم تحافظ على صمودهما أمام تطوُّرات العلم الحديثة، وخصوصًا في مجال الفيزياء. وأضحى العلماء هم مَن يحملون مصابيح الاكتشاف في رحلة التنقيب وراء المعرفة. يهدُفُ هذا الكتاب إلى تقديم الإجابات التي تفرضها الاكتشافات العصرية والنظريَّات العلمية الحديثة. كما يُوصِّلُنا لصورةٍ جديدةٍ عن الكون وعن موقعنا فيه بشكل يختلف كُلِّيًّا عن تلك الصورة التقليدية، ويختلف حتَّى عن الصورة

التي قد نكون رسمناها منذ عَقد أو عَقدين فقط. إلَّا أنَّه، يمكنُنا تتبُّع المخطَّطات الأولية لهذا الفَهم الجديد لما يقرُب من قَرنٍ مَضى تقريبًا.

طبقًا للمفهوم التقليديِّ عن الكون، فإنَّ الأجسام تتحرَّك وَفقًا لمساراتٍ وتواريخَ محدَّدة تمامًا، فيُمكننا تحديدَ موضعِها الدقيق في كلِّ لحظةٍ من الزمن. ومع أنَّ هذا التفسيرَ يصلحُ بما يكفي للأغراض اليومية، إلَّا أنَّه في ثلاثينيَّات القرن العشرين بدا أنَّ تلك الصورة "الكلاسيكية" لا يُمكنُها تفسير ما يبدو سلوكًا عجيبًا يمكنُ ملاحظتُه على المستويات الذرِّية وما دون الذرِّية. وبدلًا من ذلك، كان ضروريًّا أن يتمَّ تبنِّي إطارٍ مختلفٍ، يُسمَّى بفيزياء الكمّ. وقد انتهى المآل لأن تصبحَ نظريَّات الكمّ صحيحةً بشكلٍ ملحوظ، وذلك لتنبُّئِها بالأحداث التي تجري عند هذه المستويات، بينما تعيد إنتاج تنبُّؤات النظريَّات الكلاسيكية القديمة أيضًا، عند تطبيقها في عالم الحياة اليومية الكبير. لكنَّ الفيزياء الكمومية والكلاسيكية تقومان على مفاهيمَ مختلفة جدًّا عن الواقع الماديِّ.

يمكنُ صياغةُ نظريَّات الكمِّ بعدَّة طرق مختلفة، لكنَّ أكثرَ وصفٍ قد يكون متَّسقًا مع الحدس العامِّ، ذلك الذي قدَّمه ريتشارد فاينمان Richard Feynman، وهو شخصية ضاحكة مبهجة وكان يعمل في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، ويعزف على طبلة البونجو في ملهى ليلي لعروض الإستربتيز بجوار نفس المعهد على قارعة الطريق. طبقًا لفاينمان، ليس لدى النظام تاريخٌ واحدٌ فقط، بل لديه كلُّ تاريخ ممكن. وخلال بحثِنا عن الأجوبة، سنقوم بشرح مقاربة فاينمان بالتفصيل، وسنوظِّفُها لكي نوضِّح فكرة أنَّ الكون ذاتَه ليس له تاريخٌ واحدٌ، حتَّى إنَّه لا يمتلك وجودًا مستقلًا. تبدو هذه الفكرةُ، فكرةً ثوريةً حتَّى بالنسبة للعديد من الفيزيائيِّين. ففي الواقع، كما في العديد من مفاهيم

العلم المعاصرة، يبدو أنَّها تنتهك التقدير العام common sense. لأنَّ الحسّ المشترك ينبني على تجاربنا اليومية - وليس على هذا الكون كما يتبدّى لنا من خلال أعاجيب التكنولوجيا - كتلك التي تسمح لنا بالتحديق عميقًا داخلَ الذرَّة، أو الرجوع حتى بداية الكون.



"المعادلة الرياضية.. تلكَ هي فلسفَتي"

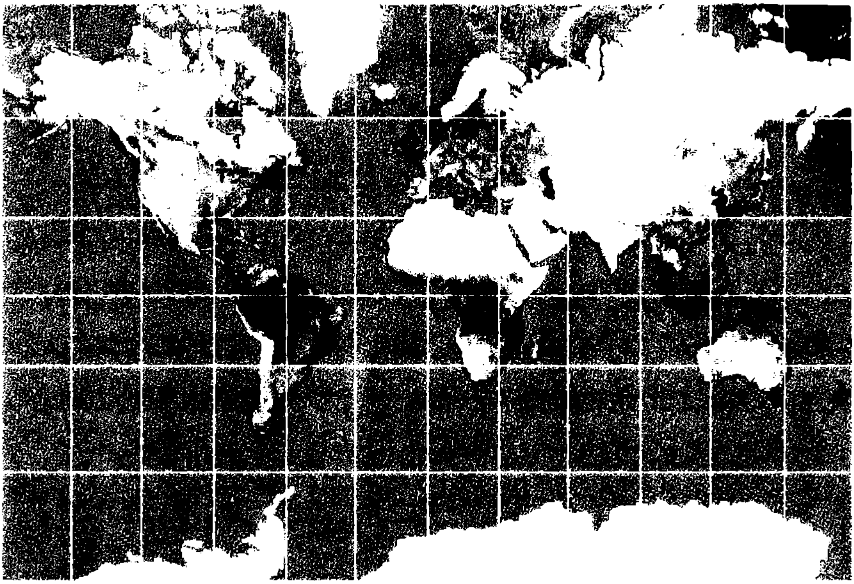
حتَّى مجيء الفيزياء الحديثة، كان يُعتقد بشكل عامٍّ أنَّ هناك إمكانيةً للحصول على كافَّة أنواع المعارف عن العالم من خلال الملاحظة المباشرة. فالأشياءُ هي ما تبدو عليه كما نستشعر ذلك

بإحساسنا. لكنَّ هذا النجاح المذهل للفيزياء الحديثة، المبني على مفاهيمَ كمفاهيم فاينمان التي تصطدم بتجاربنا اليومية، قد أوضح أنَّ هذا ليس هو الحال. وهكذا فإنَّ الرؤية الساذجة للواقع لا تتوافق مع الفيزياء الحديثة. ولكي نتعامل مع تلك التناقضات سوف نتبنَّى مقاربةً نُطلق عليها الواقعية المعتمدة على النموذج model-dependent realism. والتي تقوم على فكرة أَنَّ أدمغتَنا تُترجم الإشاراتِ الواردةَ من أعضائنا الحسِّيَّة بعمل نموذج للعالم. وعندما ينجح هذا النموذج في تفسير الأحداث، نميلُ لأن نعزوَ إليه، وإلى العناصر والمفاهيم المُكوِّنة له، نوعيةَ الواقع أو الحقيقةَ المطلقة. لكن قد تكون هناك طرقٌ مختلفة، يمكنٍ خلالها للمرء أن يضع نموذجًا للوضعية الفيزيائية نفسها، ويوظف فيها مفاهيمَ وعناصرَ أساسيةً مختلفة. فلو كان تنبُّؤُ النموذجين أو النظريَّتين الفيزيائيَّتين بنفس الأحداث دقيقًا، فلن يستطيع أحدٌ القول إنَّ أحدهما أكثر حقيقية من الآخر، وبدلًا من ذلك سيكون لنا مطلق الحرية في استعمال النموذج الأكثر ملاءمة.

لقد اكتشفنا في تاريخ العلم تتابعًا أفضلَ وأفضل من النظريَّات والنماذج المتتالية، من أفلاطون Plato حتَّى نظرية نيوتن Newton الكلاسيكية إلى النظريَّات الحديثة للكمِّ. ومن الطبيعي أن نسأل: هل سيصل هذا التسلسل حتمًا إلى نقطة نهاية، إلى النظرية النهائية للكون، التي ستشمل كافَّة القوى، وتتنبَّأ بكلِّ ملاحظة يمكننا القيامَ بها، أم سنستمرّ إلى الأبد في إيجاد نظريَّات أفضلَ، دون العثور على هذه النظرية التي لا يمكن تعديلها؟ فحتَّى الآن، ليس لدينا إجابةٌ محدَّدةٌ عن هذا السؤال، لكن لدينا نظريةً مرشَّحةً لأن تكون نظريةً نهائيةً لكلِّ شيءٍ، إن كانت توجد نظريةٌ كتلك فعلًا، والتي تسمَّى النظريةَ "إم"

M-theory. وهي النموذج الوحيد الذي لديه المميِّزات التي نتوقَّع أن تتضمنَها النظرية النهائية، وهي النظرية التي سيقوم عليها الكثير من نقاشاتنا الأخيرة في هذا الكتاب.

النظرية "إم"، ليست نظريةً بالمعنى المعتاد. فهي عائلة كاملة من النظريَّات المختلفة، كلٌّ منها يُعدُّ وصفًا جيِّدًا للملاحظات في إطار بعض الحالات الفيزيائية فقط، وهي تشبه الخريطة إلى حدٍّ ما. فكما هو معروف، لا يستطيع أحدٌ إظهار كلِّ سطحِ الأرض على خريطة واحدة. فالإسقاط الميركاتوري Mercator projection المستخدَم في رسم خرائط العالم، يجعل المناطق في أقصى الشمال والجنوب أكبرَ وأكبر، لكنَّه لا يغطِّي القطبين الشماليَّ والجنوبيَّ. ولكي نرسم خريطةً دقيقةً للأرض بأكملها، ينبغي استخدام مجموعة من الخرائط، يغطِّي كلَّ منها منطقة محدَّدة. وعندما يتمُّ تركيب الخرائط بعضها مع بعض، فإنَّها ستبيِّن المنظور نفسه. والنظرية ـ "إم" تشبه هذا، فالنظريَّات المختلفة ضمن عائلة النظرية ـ "إم" قد تبدو مختلفة كُلِّيًّا، لكن يمكن النظرُ إليها جميعًا كأوجهٍ للنظرية نفسها التي تتضمَّنها. فهي نُسخٌ من النظرية يمكن تطبيقُها في نطاقات محدودة فقط، على سبيل المثال عندما تكون مقادير معيّنة من الطاقة صغيرة جدًّا. وكما هو الحال مع الخرائط المتداخلة في الإسقاط الميركاتوري، حيث تتداخل نطاقات النسخ المختلفة، فإنَّها تتنبَّأ بالظاهرة نفسها. لكنَّه وكما لا توجد خريطة مُسطَّحة تمثِّل بشكلٍ جيِّدٍ كلَّ سطح الأرض، فإنَّه لا توجد نظرية واحدة يمكنها أن تمثِّل كل الملاحظات في جميع الحالات بشكلٍ جيِّد.



خريطة العالم: ربَّما يتطلَّب الأمرُ سلسلةً من النظرِيَّات المُركَّبة
لتمثيل الكون، وأيضًا تركيب الخرائط التي تمثِّل الأرض

سنشرح كيف تُقدِّم النظرية "إم" إجابة لسؤال الخلق. فحسب النظرية ـ "إم" فإن الكون الذي ـ نعيش فيه ليس هو الكون الوحيد. وبدلًا من ذلك، فإنَّها تتنبَّأ بأنَّ هناك عددًا كبيرًا من الأكوان التي خُلقَت من العدم، ولا يتطلَّبُ خلقُها تدخُّلًا من إلهٍ أو من كائنٍ فوق طبيعيٍّ. وبالأحرى، فإنَّ تلك الأكوان المتعدِّدة تنشأ بشكل طبيعيٍّ من القانون الفيزيائي، إنَّها تنبُّؤات العلم. فلكلِّ كونٍ عدَّةُ تواريخَ ممكنة وعدَّةُ حالات ممكنة في الأزمنة المتأخِّرة، أزمنة تشبه الحاضر بعد مدَّة طويلة من خلقها. ومعظم تلك الحالات لا تشبه تمامًا الكون الذي نلاحظه، كما لا تتلاءمُ مع وجود أي شكلٍ للحياة. وقد يسمح عددٌ قليلٌ جدًّا منها لمخلوقات مثلنا بالوجود. ولهذا، فإنَّ وجودَنا ينتقي فقط تلك

الأكوان التي تتوافق مع حضورنا ضمنَ هذا الترتيب الشاسع. ومع أنَّنا تافهون وضئيلون بمقياس الكون، إلَّا أنَّ هذا يُعطينا إحساسًا بأنَّنا سادةُ عملية الخلق.

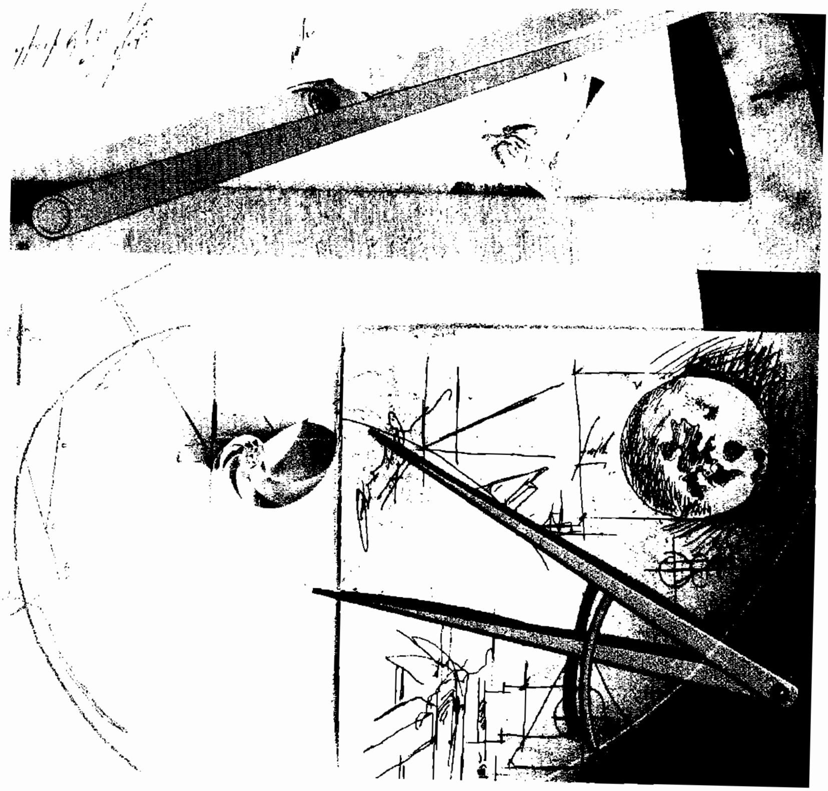
ولفَهم الكونِ على المستوى الأعمق، لابُدَّ لنا معرفة ليس فقط كيف يتصَرّف الكون، لكن لماذا أيضًا.

- لماذا يوجد الشيء بدلًا من اللا شيء؟

- لماذا نوجد نحن؟

- لماذا توجد هذه المجموعة المُحدَّدة من القوانين دون غيرها؟

هذا هو السؤال النهائي للحياة وللكون ولكلِّ شيء، وسنحاول الإجابة عنه في هذا الكتاب. فعلى خلاف الإجابة المقدَّمة في دليل المسافر العابر إلى المجرّة The Hitchhiker's Guide to the Galaxy، لن تكون إجابتُنا ببساطة هي الرقم 42 (*).



الفصل الثاني

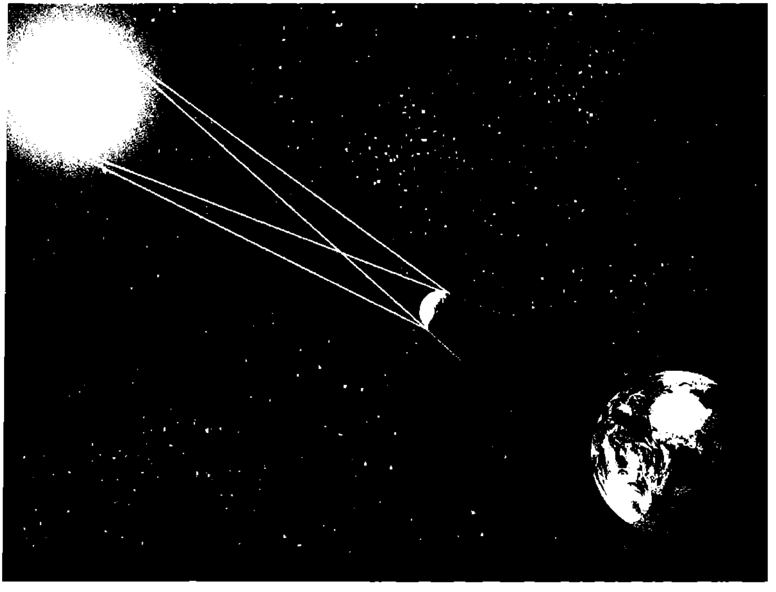
سيادة القَانُون

الذِّئبُ سكولهو هو الذي سُيفزِعُ القمرَ
ليطيرَ على خشب المصيبة
والذئبُ هاتي، قريب الذئب فينرير،
هو الذي سُيلاحِقُ الشمسَ.

من الأُسطورة الجرمانية (الزعيم إيدا)

في ميثولوجيا الفايكنج، يُطارد الذئبان "سكول" و"هاتي" القمر والشمس. وعندما يقبض أحد الذئبين على الآخر يحدث الكسوف، وعندئذ يهرع البشر على الأرض لإنقاذ الشمس أو القمر بإصدار أقصى ما يستطيعون من ضوضاء على أملِ إخافة الذئبين. هناك أساطيرُ مشابهةٌ في الثقافات الأخرى. لكن بمرور الوقت، لا بُدَّ وأن لاحظ الناس أنَّ الشمس والقمر سرعان ما يبزغان بعد الكسوف، بغض النظر عن الجري والصراخ وقرع الأشياء. ولا بدَّ أنَّهم قد لاحظوا بمرور الوقت أنَّ الكسوف لا يحدث بشكل عشوائي، بل يحدث وفقًا لترتيب منتظم ومتكرِّر. وكان هذا الترتيب أكثر وضوحًا بالنسبة لخسوف القمرً، ممَّا مكَّن البابليِّين القدماء من التنبُّؤ بخسوف القمر بشكل دقيق

تمامًا، على الرغم من عدم إدراكهم أنَّ سبب ذلك هو اعتراض الأرض للضوء القادم من الشمس. لقد كان كسوف الشمس أكثر صعوبة في التنبُّؤ، لأنَّه كان يُرَى فقط في نطاق جزء من الأرض باتِّساع ثلاثين ميلًا. وبمجرَّدِ إدراك ذلك، فإنَّ تلك الأشكال قد بيَّنت أنَّ الكسوف لا يعتمد على الأهواء الاعتباطية للكائنات فوق الطبيعية، لكنَّه كان بدلًا من ذلك محكومًا بالقوانين.



الكسوف: لم يعرف القدماء سببَ الكسوف، لكنَّهم لاحظوا أنماطَ حدوثه

بالرغم من النجاحات الأولى للتنبُّؤ بحركة الأجرام الشمسية، إلَّا أنَّ معظم أحداث الطبيعة قد بدا من المستحيل لأسلافنا أن يتنبؤوا بها. فالبراكين والزلازل والعواصف ووباء الطاعون وانغراس الظُّفر في إصبع القدم، كان يبدو أنَّها جميعًا تحدث بلا سبب أو دون ترتيب واضح. ففي العصور القديمة كان من الطبيعيِّ إرجاعُ أفعالِ الطبيعة

العنيفة إلى عبث الآلهة، أو سخطها الشديد. وكانت الكوارث تُؤخَذ على أنّها علامةٌ على إغضابنا للآلهة بشكلٍ ما. فمنذ حوالَي (5600 عام ق. م) مثلًا ثار بركان جبل مازاما Mount Mazama الموجود بأوريجون(*) Oregon. وقد لفظ هذا البركان الصخور والرماد البركانيّ لسنوات، ممّا أدّى إلى سقوط الأمطار لعدَّةِ سنواتٍ، حيث امتلأت فعلًا فُوَّهةُ البركان، وصارت تُعرَف حتى اليوم باسم "بُحيرة الفوّهة" Crater Lake. ويوجد لدى هنود الكلاماث Klamath Indians في أوريجون أسطورةٌ تتوافقُ بالضبط مع تفاصيل هذا الحدث الجيولوجيِّ، لكنَّها تضيف بعض الدراما بإظهار الإنسان على أنَّه سببٌ هذه الكارثة. إنّ استعداد الإنسان لحمل الذَّنْبِ يتمثَّلُ دائمًا في مقدرته على إيجاد طريقة لِلَوم نفسه. وكما تذهب الأسطورة فإنّ "لاو" Llao سيِّدَ العالَم السفليِّ، قد شغفَ حُبًّا بفتاة جميلة من بني البشر، وهي ابنة زعيم كلاماث التي رفضته بازدراء، فقرَّر "لاو" الانتقام، وحاول تدمير كلاماث بالنَّار. لكن لحُسنِ الحظِّ وبحسب ما تَروي الأسطورة، فإنَّ سكِل Skell سيِّدَ العالَم العُلويِّ، قد وقف إلى جانب البشر ودخل في معركة مع غريمه من العالم السفليِّ. وفعلًا، سقط "لاو" جريحًا ليعود إلى داخل جبل مازاما، مخلِّفًا وراءه حفرةً هائلةً، وهي الفُوَّهةُ التي امتلأت فعليًّا بالماء.

إنَّ الجهل بطرق الطبيعة قاد الناس في العصور القديمة لابتكار الآلهة التي تتحكَّم في كلِّ مناحي الحياة البشرية. فكانت هناك آلهةٌ للحُبِّ وللحرب، وللشمس، وللسماء، وللمحيطات، وللأنهار، وللأمطار، وللأعاصير، وحتَّى للزلازل وللبراكين. وعندما ترضى

(*) إحدى ولايات الشمال الغربي بالولايات المتحدة الأمريكية - المترجم.

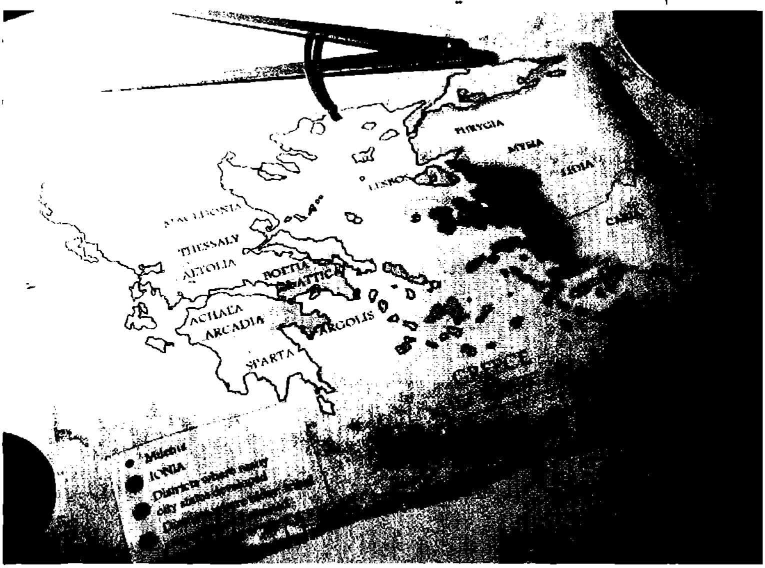
الآلهة، كان الإنسان يتمتَّع بصفاء الجوّ وبالسلام ويتخلَّص من الأمراض والكوارث الطبيعية. وعندما تغضب، كان يأتي الجفاف والحرب والطاعون والأوبئة. ولمَّا كانت الصلةُ بين العلَّة والأثر في الطبيعة غيرَ واضحة، فقد بدت تلك الآلهة غامضةً، وكان البَشرُ تحت رحمتها. لكن بمجيء طاليس من مدينة ميليتوس(*) Thales of Miletus (624 - 546 ق م) منذ حوالَي 2600 عام، بدأت تلك الفكرةُ في التبدُّل، ونشأت فكرة أنَّ الطبيعة تتبع قواعدَ متماسكةً يمكن حلُّ شفرتِها. وبدأت بالتالي عمليةٌ طويلةٌ لإحلال فكرة سيطرة الآلهة بمفهوم الكون المحكوم بقوانين الطبيعة، وأنَّ هذا الكون قد خُلقَ وَفقًا لمُخطَّطٍ يمكننا تعلُّم قراءتِه ذاتَ يوم.

وبإلقاء نظرة على التسلسل الزمنيِّ للتاريخ البشريِّ، سنرى أنَّ التساؤلَ العلميَّ يُعدُّ محاولةً حديثةً جدًّا. فقد نشأ نوعُنا "الهوموسابينس" Homo sapiens في إفريقيا جنوب الصحراء حوالي (200,000 سنة ق م). ويعود تاريخ اللغات المكتوبة إلى حوالَي 7000 سنة فقط، كمنتج للمجتمعات التي تركَّزت حول زراعة المحاصيل. (بعض أقدمِ النقوش المكتوبة تتعلَّق بحصّة البيرة التي كان يُسمح بها يوميًّا لكلِّ فرد). ويعود تاريخ أوَّل سجلات مكتوبة إلى الحضارة اليونانية القديمة العظيمة في القرن التاسع قبل الميلاد. لكنَّ أوجَ هذه الحضارة وهي "الفترة الكلاسيكية" كان بعد ذلك بعدَّة مئات من السنوات، إذ بدأت قبل 500 عام من الميلاد بقليل. وطبقًا لأرسطو Aristotle (384 ـ 322 ق م) فقد طوَّر طاليس بحدود هذا الوقت لأوّل مرّة فكرةَ أنَّ العالم يمكن فَهمُه، وأنَّ الأحداثَ المُعقَّدةَ التي تجري

(*) إحدى المدن اليونانية القديمة وتدعى الآن (بالاتا)، وهي مدينة تجارية ولها أربع موانئ وتقع على الشاطئ الجنوبي من الخليج اللاتمي ـ المترجم.

حولنا يمكن اختزالُها إلى مبادئَ أبسط، ويمكن شرحُها دون اللجوء لى التفسيرات الخرافية والأسطورية.

ويُنسب إلى طاليس قيامه بأوّل تنبُّؤ بالكسوف الشمسيِّ في عام 585 ق م)، مع أنَّ دقَّة تنبُّؤه الكبيرة كانت في الغالب تخمينًا سعيد لحظٍّ. لقد كان طاليس شخصية طيفيّة، فلم يترك وراءه أيّة كتابات خصُّه، وكان بيته موجودا في المركز الثقافي بمنطقة أيونيا Ionia التي كان يحتلُّها اليونانيُّون، وقد امتدَّ أثرُها ليصل من تركيا حتَّى إيطاليا في قصى الغرب. كان العلم الأيُوني محاولة تميَّزت بالاهتمام الشديد بإماطة اللثام عن القوانين الأساسية التي تحكم الظواهر الطبيعية، كما شكَّلت مَعلمًا هامًّا ورائعًا في تاريخ الفكر البشري. لقد كانت مقارباتهم ذهنية، وأدَّت في عدَّة حالات إلى استخلاصات تشبه



أيونيا: كانِ الباحثون في أيونيا القديمة ضمن أوائل مَن فسَّر الظواهر الطبيعية من خلال قوانين الطبيعة بدلًا من الأسطورة واللاهوت

اكتشف العلاقة الرقمية بين طول الأوتار المستخدَمة في الآلات الموسيقية والخليط الهارموني للأصوات الناتجة عنها. وبلُغةِ اليوم يمكنُنا وصف تلك العلاقة بالقول: إنَّ تردُّدَ الوتر "أي عدد الاهتزازات في الثانية الواحدة" الذي يهتزُّ بقوَّة شدٍّ ثابتة يتناسبُ عكسيًّا مع طوله. ومن وجهة النظر العملية، فإنَّ هذا يفسِّر لماذا ينبغي أن يكون للجيتار الجهير أوتارٌ أطول من الجيتار العادي. ربَّما لم يكتشف فيثاغورث ذلك فعليًّا ـ وهو أيضًا لم يكتشف النظرية الرياضية المسمَّاة باسمه ـ لكنَّ هناك دليلًا على وجود علاقة ما كانت معروفة في تلك الأيَّام بين طول الوتر، وبين النغمة التي تصدر عنه. فإذا كان الأمر كذلك، يمكن للمرء أن يُسمِّيَ تلك الصيغة الرياضية البسيطة أول نموذج لما نعرفه الآن بالفيزياء النظرية.

بعيدًا عن قانون الأوتار لفيثاغورث، فإنَّ القوانينَ الفيزيائيةَ الوحيدةَ التي عرفها القدماء بشكل صحيح كانت ثلاثة قوانين، وقد ذكرها بالتفصيل أرشميدس Archimedes (287ـ212 ق.م) الذي يُعَدُّ إلى حدٍّ بعيدٍ أبرزَ علماءِ الفيزياء في العصر القديم. وبمصطلحات اليوم، فإنَّ قانون الروافع يشرح كيف يمكن للقوَّة الصغيرة أن ترفع أوزانًا كبيرة، لأنَّ الرافعة تعمل على تكبير القوَّة حسب نسبة المسافة من محور ارتكاز الرافعة. وينصُّ قانون الطَّفو على أنَّ أيَّ جسم مغمورٍ في سائل سيُلاقي قوَّةً مضادَّةً تعمل لأعلى وتساوي وزنَ السَّائل المزاح. كما أكَّد قانون الانعكاس على أنَّ الزاوية الواقعة بين شعاع الضوء، وبين المرآة تكون مساويةً للزاوية الواقعة بين المرآة والشعاع المنعكس. لكنَّ أرشميدس لم يُسَمِّ كل هذا بالقوانين، كما لم يقم بشرحها مدعومة بمرجعية من الملاحظة والقياس. وبدلًا من ذلك تعامل معها

كما لو أنّها كانت نظريَّاتٍ رياضيةً صرفة، في نظام بدهيٍّ يشبه كثيرًا ذلك الذي ابتكره إقليدس Euclid في الهندسة.

وبينما كان ينتشر النفوذ الأيُونيُّ، ظهر آخرون يرون أنَّ الكونَ لديه نظامٌ داخليٌّ، نظامٌ يمكن فَهمه من خلال الملاحظة والتفسير. وقد جادل آناكسيماندر Anaximander (610 ـ 546 ق. م) صديق طاليس وربّما تلميذه، بأنَّ طفل الإنسان يكون ضعيفًا ولا حولَ له أو قوَّةَ عند لحظة ولادته، فإذا ظهر أوّل إنسان على الأرض كطفلٍ بطريقةٍ ما، فلن يُكتبَ له البقاءُ على قيد الحياة، فيما يمكن اعتباره أوّلَ معرفة محدودة للإنسان بموضوع التطوُّر. لذلك فإنَّ البشرَ، كما علَّل آناكسيماندر، لا بُدَّ وأن يكونوا قد تطوَّروا من حيوانات كانت صغارها أقوى. وفي صقلِّية، لاحظ إمبيدوقليس Empedocles (490 ـ 430 ق.م) الطريقة التي تُستعمل بها آلة الكليبسيدرا clepsydra والتي كانت تُستخدم كمغرفة أحيانًا، فكانت تتكوَّن من كرةٍ ذاتِ عنقٍ زجاجيٍّ مفتوحٍ وثقوب صغيرة في قاعها، وتمتلئ آلة الكليبسيدرا عند غمرها في الماء، لكن إذا تمَّ تغطية عنقها الزجاجيّ، فستبقى آلة الكليبسيدرا من دون أن يتساقط الماء من الثقوب. كما لاحظ إمبيدوقليس أنَّها لا تمتلئ بالماء لو تمَّ تغطية عنقها الزجاجي قبيل غمرها في الماء. وقد فسَّر ذلك بوجود شيء غيرِ مرئيٍّ، يوجب الحيلولة دون دخول الماء للكرة من خلال الثقوب، لقد اكتشف المادّة الأساسية التي نسمِّيها "الهواء".

في غضون هذا الوقت قام ديموقريطس Democritus (460 ـ 370 ق م) من المستعمرة الأيُونية بشمال اليونان، بالتفكير مليًّا في ما يحدث عند تكسير أو تقطيع شيءٍ ما إلى قِطع. وجادل بأنَّه لا يمكنك

الاستمرار في هذه العملية إلى ما لانهاية، وافترض بدلًا من ذلك أنَّ كلَّ شيء، بما في ذلك جميع الكائنات الحيّة، مصنوعٌ من جسيمات أساسية لا يمكن تقطيعُها أو تكسيرها إلى أجزاء. وقد سمَّى تلك الجسيمات المتناهية بالذرَّات، وهي صفة باللغة اليونانية معناها (غير قابل للتقطيع). وقد اعتقد ديموقريطس أنَّ كلَّ ظاهرة مادِّية هي نتاج لتصادم الذرَّات. ووفقًا لرؤيته التي يطلق عليها المذهب الذرِّي at-omism، فإنَّ كلَّ الذرَّات تتحرَّك حول نفسها في الفراغ، وإذا لم يتمّ إزعاجها، فإنَّها ستظلّ تتحرَّك لأجل غير مسمًّى. وتُسمَّى هذه الفكرة اليوم بقانون القصور الذاتيِّ.

إنَّ الفكرة الثورية القائلة بأنَّنا مجرَّدُ سكَّانٍ عاديِّين في هذا الكون، ولسنا كائناتٍ خاصَّةً تتميَّز بوجودها في مركزه، قد أيَّدها لأوَّل مرَّة أريسطرخوس Aristarchus (310 ـ 230 ق. م) وهو أحد العلماء الأيُونيّين المتأخِّرين. لقد بقيت فقط إحدى معادلاته كتحليل هندسيٍّ معقَّد للملاحظات الدقيقة التي قام بها لحجم ظلِّ الأرض على القمر في لحظة خسوفه. فقد استخلص من بياناته أنَّ الشمس يجب أن تكون أكبر بكثير من الأرض. وربَّما بإلهام فكرة أنَّ الأشياء الصغيرة ينبغي أن تدور حول الأشياء العملاقة، وليس العكس، أصبح هو أول شخص يطرح الحجَّة القائلة بأنَّ الأرض ليست في مركز نظامنا الكوكبي، ولكنَّها تدور بدلًا من ذلك مع الكواكب الأخرى حول الشمس ذات الحجم الأكبر. إنَّها خطوة صغيرة نحو إدراك أنَّ الأرض ما هي إلَّا كوكبٌ وحسب ثم فكرة أنَّ شمسنا ليست شيئًا مُميَّزًا أيضًا. لقد توقَّع أريسطرخوس أنَّ الحال هكذا، كما اعتقد أنَّ النجوم التي نراها ليلًا في السماء ليست في الحقيقة أكثر من شموس بعيدة.

لم يكن الأيونيّون سوى إحدى مدارس الفلسفة اليونانية القديمة المتعددة. وكان لكلٍّ مدرسة تقاليدُ مختلفةٌ ومتعارضةٌ في أغلب الأحيان. لكن لسوء الحظّ، فإنَّ نظرة الأيونيِّين للطبيعة ـ التي يمكن شرحها من خلال قوانين عامة واختزالها لمجموعة بسيطة من المبادئ ـ كان لها أثرٌ قويٌّ لمدّة قرون قليلة فقط. وأحد أسباب ذلك أنَّ نظريَّاتِ الأيونيين بدت كما لو أن ليس بها مكانٌ لفكرة الإرادة الحرّة أو الغاية أو لمفهوم تدخل الآلهة في أحداث العالم. كان هذا الإغفال مفزعًا ومثيرا لقلق عميق لدى عدد من المفكرين اليونانيين، كما هو لدى كثير من الناس الآن. فالفيلسوف أبيقور Epicurus (341 ـ 270 ق. م) على سبيل المثال، قد عارض المذهب الذرِّي على أرضية أنَّه "من الأفضل اتِّباع خرافات الآلهة، على أن نصبح عبيدًا للمصير الذي يقول به الفلاسفة الطبيعيِّون". وقد رفض أرسطو أيضًا مفهوم الذرَّات، لأنَّه لم يستطع تقبُّل أنَّ البشر مكوَّنون من أجسام جامدة بلا روح. كانت الفكرة الأيونيّة بأنَّ الإنسان ليس مركزًا للكون، حدثًا مهمًّا في فهمنا لهذا الكون، لكنَّها كانت فكرةً تمَّ تجاهلها ولم يتمَّ استدعاؤها مرَّة أخرى، ولن يتمَّ قبولُها بشكلٍ عام حتَّى مجيء جاليليو Galileo، بعد عشرين قرنًا تقريبًا.

وكما تميَّزت بعض تخميناتهم عن الطبيعة بالتبصُّر، فإنَّ معظم أفكار اليونانيين القدامى لا يمكن اعتبارها مُرضية، كما هو الحال مع العلم الصحيح في العصور الحديثة. وذلك لسببٍ واحدٍ وهو أنَّ اليونانيين لم يبتكروا الطريقة العلمية، ولم تتطوَّر نظريَّاتُهم عن طريق التحقّق التجريبيِّ. لذلك فلو زعم أحد العلماء أنَّ الذرَّة تتحرَّك في خطٍّ مستقيم حتَّى تصطدم بذرَّة أخرى، وزعم عالمٌ آخرُ أنَّها تتحرَّك في

خطٍّ مستقيم حتَّى تصطدم بعملاق، فلن تكون هناك طريقة موضوعية لإنهاء هذا الجدل. وأيضًا، لم يُوجد تمييز واضح بين القوانين التي تتحكَّم بالإنسان وبين القوانين الطبيعية. ففي القرن الخامس قبل الميلاد على سبيل المثال، كتب آناكسيماندر أنَّ كلَّ الأشياء تنشأ من موادَّ أوليةٍ وتعود إليها، خشية "دفع غرامة أو عقوبة ثمنًا لمروقها". ووفقًا للفيلسوف الأيُونيِّ هرقليطس Heraclitus (535 ـ 475 ق.م) فإنَّ الشمسَ تتصرَّفُ بتلك الطريقة التي تتصرَّف بها لكي لا تقوم آلهة العدل بملاحقتها. وبعد عدِّة مئاتٍ من السنين، فإنَّ الرواقيِّين Stoics وهم مدرسة في الفلسفة اليونانية نشأت حوالَي القرن الثالث قبل الميلاد ـ قاموا بالتمييز بين التشريعات البشرية وبين القوانين الطبيعية. لكنَّهم قاموا بوضع القواعد التي تحكم تصرُّفات الإنسان والتي اعتبروها كونية ـ كتبجيل الآلهة وطاعة الوالدين ـ ضمن فئة القوانين الطبيعية. وفي المقابل، قاموا غالبًا بوصف العمليات الفيزيائية بمصطلحات قانونية، واعتقدوا بضرورة فرضها بالقوَّة، حتَّى لو كانت الأشياء التي يتطلب "خضوعها" للقوانين أشياء جمادية. فإذا فكَّرت في صعوبة إجبار البشر على اتِّباع قوانين المرور، عليك تخيُّل إقناع كُويكب(*) صغير بالتحرُّك في مسار قطع ناقص(**).

بعد ذلك استمرَّ هذا التراث في التأثير لعدِّة قرون على المُفكِّرين الذين جاؤا بعد اليونانيّين. ففي القرن الثالث عشر تبنَّى توما الأكويني (1225 - 1274) Thomas Aquinas أحد أوائل الفلاسفة المسيحيين تلك الرؤية واستخدمها كحُجّة على وجود الله، فقد كتب "من

(*) الكويكبات هي عبارة عن مواد كونية صلبة تبدو بهيئة الكواكب الصغيرة جدًّا، والمتعذر رؤيتها بالعين المجردة على سطح الأرض.

(**) القطْع الناقص هو دائرة مضغوطة، تكون أوسع عند أحد محاورها وأضيق عند الآخر.

الواضح أنَّ [الأجسام الجامدة] تبلغ نهايتها ليس بمحض المصادفة لكن بالإرادة... ولهذا فهناك وجود لشخصية عاقلة، يؤتمر بأمرها كلَّ شيء في الطبيعة حتَّى يصل إلى نهايته". مع أنَّه، وبنهاية القرن السادس عشر اعتقد عالم الفلك الألماني العظيم يوهانز كيبلر Johannes Kepler (1571 - 1630) بأنَّ الكواكب لديها عقلٌ مُدرك، وأنَّها تتبع بشكلٍ واع قوانين الحركة التي تُدركها "بعقولها".

وتعكس فكرةُ أنَّه لابد من اتباع قوانين الطبيعة عمدًا، تركيزَ القدماء على سبب تصرُّف الطبيعة على النحو الذي تتصرَّف به، أكثر من الكيفية التي تتصرَّف بها. وكان أرسطو أحدَ المناصرين لهذا، حيث رفض فكرةَ أنَّ العلم يقوم بالأساس على الملاحظة. وعلى أيَّة حال، كانت المعادلات الرياضية وإجراءُ القياسات الدقيقة أمورًا صعبةً في العصور القديمة. فقاعدةُ الترقيم العشريِّ التي وُجد أنَّها تتوافق بشكل تامّ مع علم الحساب يعود تاريخها إلى حوالي 700 سنة بعد الميلاد، عندما أخذ الهنودُ أولَ خطوات عظيمة لجعل الحساب وسيلةً قويَّة. ولم تظهر الاختصارات مثل علامتي الناقص (-)، والزائد (+) حتَّى القرن الخامسَ عشرَ. ولم توجد علامة يساوي (=) ولا الساعات التي يمكنها قياس الوقت بالثواني، قبل القرن السادسَ عشرَ.

إلَّا أنَّ أرسطو لم يَرَ في الحساب وفي مشاكل القياس عوائقَ أمام تطوير تلك الفيزياء التي يمكنها إنتاج تنبُّؤات كمومية. وبالأحرى فقد رأى أنَّه لا حاجة لإجرائها. وبدلاً من ذلك، بنى أرسطو فيزياءه على مبادئ بدت له ذات جاذبية فكرية. لقد تغاضى عن الحقائق التي رأى أنَّها غير جذَّابة، وركَّز جهوده على تعليل حدوث الأشياء، وكرَّس قليلاً من جهده ليشرح بالتفصيل ما الذي يحدث بالضبط. كما قام

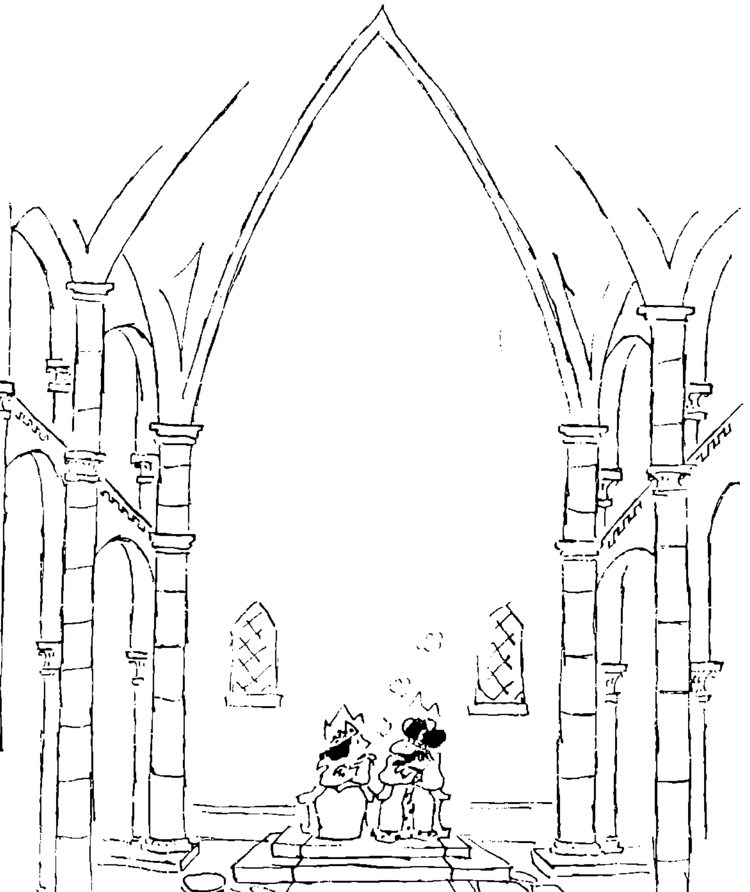
بتعديل استخلاصاته، عندما كان غير ممكن تجاهل التناقض الصارخ مع الملاحظة. لكنَّ تلك التعديلات التي خُصِّصت للتفسير غالبًا، لم تقدّم سوى القليل لتجاوز تلك التناقضات. وبهذا لم يكن مُهمًّا الطريقة التي تنحرف بها نظريته عن الواقع بشدَّة، فقد كان بمقدوره تغييرها دومًا لتبدو كأنَّها قد أزالت التناقض بشكل كافٍ. على سبيل المثال، تحدِّد نظريته عن الحركة أنَّ الأجسام الثقيلة تسقط بسرعة ثابتة تتناسب طرديًّا مع وزنها. ولتفسير حقيقة أنَّ الأجسام تكتسب السرعة بشكلٍ واضح أثناء سقوطها، قام باختراع مبدأ جديد مفادُه أنَّ الأجسام تستمرُّ متحركة في سعادة وبهجة، وبالتالي تتسارع عند اقترابها من حالة السكون الطبيعية، وهو المبدأ الذي يبدو اليوم مناسبا أكثر لوصف بعض الناس وليس الأجسام الجامدة. ومع أنَّ نظريّات أرسطو كان لها مقدرة قليلة على التنبُّؤ، إلّا أنَّ مقاربته للعلم قد سادت في الغرب طيلة ألفي سنة تقريبا.

لقد رفض المسيحيُّون اليونانيُّون فيما بعد فكرة أنَّ الكون محكوم بقانون طبيعيٍّ محايد. كما رفضوا أيضًا فكرة أنَّ البشر لا يتمتَّعون بمكانة مميَّزة ضمن هذا الكون. ومع أنَّ فترة القرون الوسطى لم يكن فيها نظام فلسفيٌّ مترابطٌ منطقيًّا، إلّا أنَّ الفكرة الأساسية كانت أنَّ الكون هو بيت دُمية الله God's dollhouse، وأنَّ دراسة الدِّين ذاتٌ قيمة أكبر من دراسة الظاهرة الطبيعة. وفعليًّا، في عام 1277، وامتثالا لتعاليم البابا جون الحادي والعشرين Pope John XXI، قام تمبير Tempier أسقف كنيسة باريس بإصدار قائمة بـ219 من الآثام أو الهرطقات التي كان يتوجّب إدانتها. وكان من ضمن تلك الهرطقات الفكرة القائلة بأنَّ الطبيعة تتبع القوانين، لأنَّ ذلك كان يتعارض مع

قدرة الله الكلِّيَّة. والمثير أنَّ البابا جون قد قتل بعد ذلك بعدّة أشهر بتأثير قانون الجاذبية حيث سقط سقف القصر عليه.

لقد بزغ المفهوم الحديث لقوانين الطبيعة في القرن السابع عشر، ويبدو أنَّ كيبلر هو أوّلُ عالم فهمَ المصطلحَ بمعنى العلم الحديث، مع أنّه وكما ذكرنا، قد احتفظ برؤية روحانية animistic للأجسام المادِّية. ولم يستخدم جاليليو Galileo (1564 ـ 1642م) مصطلح "قانون" في أغلب أعماله العلمية (مع أنَّه يظهر في بعض ترجمات أعماله). إلَّا أنَّه سواء استخدم الكلمة أم لا، فإنَّه قد اكتشف عددًا كبيرًا من القوانين، ودافع عن المبدأ الأساسيِّ بأنَّ الملاحظة هي أساس العلم وأنَّ غاية العلم هي البحث عن العلاقات الكمومية الموجودة في الظواهر المادِّيَّة. لكنَّ رينيه ديكارت René Descartes (1596 ـ 1650) كان هو الشخص الذي صاغ بشكل صريح وصارم مفهوم قوانين الطبيعة كما نعرفه اليوم.

لقد اعتقد ديكارت أنَّه يجب تفسير كلّ الظواهر المادية وفقًا لمصطلحات تصادم الكتل المتحركة، التي تحكمها ثلاثة قوانين كانت سابقة على قوانين نيوتن الشهيرة للحركة. كما أكدَّ على أنَّ قوانين الطبيعة تلك يجب أن تكون صالحة لكلِّ زمان ومكان، وقال بشكل واضح أنَّ الامتثال لهذه القوانين لا يشير إلى أنَّ تلك الأجسام المتحرِّكة لديها عقل. كما فهم ديكارت أيضًا أهمية ما نُسمِّيه اليوم "الشروط الأولية" التي تصف حالة النظام في بداية أيَّة فترة زمنية ينطلق منها المرء للقيام بالتنبُّؤ. فبمجموعة معطاة من الشروط الأولية، ستحدد قوانين الطبيعة الكيفية التي يتطوَّر بها النظام بمرور الوقت، لكن دون مجموعة معينة من الشروط الأولية، لا يمكن تحديد هذا



إذا تعلمتُ شيئًا واحدًا طيلةَ فترة حُكمي،
أنَّ: الحرارة تتزايد في الفيزياء كما في السياسة والحياة بشكل عام

التطوّر. فمثلًا لو كانت هناك حمامة فوقك مباشرة في اللحظة صفر، ثم تبرّزت على رأسك، فإنَّ مسار هذا البراز يمكن تحديده وفقًا لقوانين نيوتن. لكنَّ النتيجة ستختلف تمامًا في اللحظة صفر، وستعتمد على

إذا كانت الحمامة واقفة على سلك هاتف أو كانت تطير بسرعة 20 ميلًا في الساعة. فلكي يتمّ تطبيق قوانين الفيزياء يجب على المرء معرفة الكيفية التي انطلق بها النظام، أو على الأقلّ حالته في وقت محدّد. (يستطيع المرء أيضًا استخدام القوانين لتتبع النظام بالعودة إلى الماضي).

بهذا الاعتقاد المُتجدِّد بوجود قوانين للطبيعة، جاءت محاولات جديدة للتوفيق بين تلك القوانين ومفهوم الإله. فحسب ديكارت، يستطيع الإله وفقًا لرغبته، أن يبدِّل الحقيقة أو يلفِّق الفروض الأخلاقية أو النظريّات الرياضية، لكن الطبيعة لا. كما اعتقد أنَّ الإله قد رتَّب قوانين الطبيعة لكنَّه لم يكن لديه الخيار في ذلك، أو بالأحرى أنَّه قد اختارها لأنَّ تلك القوانين التي نعرفها هي القوانين الوحيدة الممكنة. قد يبدو هذا تعدِّيًا على سلطة الإله، لكنَّ ديكارت تحايل على ذلك بافتراض أنَّ القوانين لا تقبل التعديل لأنَّها انعكاس لطبيعة الإله الداخلية الخاصة. وإذا كان هذا صحيحًا، فقد يفكِّرُ المرء في أنَّ الإله لا يزال لديه الخيار لخلق تنوّع من العوالم المختلفة، يتوافق كلٍّ منها مع مجموعة من الشروط الابتدائية المختلفة، لكن ديكارت أنكر ذلك أيضا. فلا يهم ماهو ترتيب المادَّة عند بداية الكون، كما كان يجادل، إذ أنه بمرور الوقت سوف يتطوَّر هذا العالم ليصبح مماثلًا لعالمنا. والأكثر من ذلك، أنَّ ديكارت أحسَّ أنَّه بمجرد أن خلق الله العالم فقد تركه وشأنه تمامًا.

لقد تبنَّى إسحق نيوتن Isaac Newton (1643 ـ 1727) وضعًا مماثلًا (مع بعض الاستثناءات). فقد كان نيوتن هو الشخص الذي حظي بقبول واسع النطاق لما قدّمه من مفهومٍ جديد للقانون العلميّ

مع قوانينه الثلاثة للحركة، وقانونه الخاصّ بالجاذبية الذي فسّر مداراتِ الأرض والقمر والكواكب، كما شرح ظاهرة كظاهرة المدِّ والجزر. ومنذ ذلك الوقت، ما زالت تُدرَّس المعادلات القليلة التي ابتكرها والإطار الرياضي المحكم الذي اشتُقَّ منها حتَّى اليوم، ويتمّ استعمالها عندما يقوم المعماريُّ بتصميم مبنى أو المهندس بتصميم العربة أو الفيزيائي بحساب كيفية توجيه صاروخ للهبوط على سطح المريخ. وكما تقول قصيدة الشاعر *ألكسندر بوب*:

كَانَتِ الطَّبيعَةُ وقوانينُها مخفيّة في اللّيل،
فَقَالَ اللهُ: ليكُن نيوتن! فكَانَ كُلُّ شيءٍ نورًا.

واليوم، يقول معظم العلماء إنَّ قانون الطبيعة، هو القاعدة التي تقوم على الانتظام الملحوظ، وتمدُّنا بتنبُّؤات تذهب خلف الأوضاع الراهنة التي تقوم عليها. على سبيل المثال، ربَّما نلاحظ أنَّ الشمس قد أشرقت من جهة الشرق كلَّ صباح طيلة حياتنا، فنفترض القانون التالي "الشمس تشرق دومًا من جهة الشرق". وهو تعميم يذهب أبعد من ملاحظاتنا المحدودة للشمس المشرقة، ويتيح لنا تنبُّؤاتٍ يمكن اختبارها عن المستقبل. من جهة أخرى، فإنَّ جملة مثل "أجهزة الكمّبيوتر في هذا المكتب لونُها أسود" ليست بقانون طبيعي، لأنَّها ترتبط فقط بأجهزة الكمّبيوتر في المكتب ولا توفِّر لنا أيَّ تنبُّؤٍ مثل "إذا كان المسئول عن مكتبي ينتوي شراء كمبيوتر جديد، فهل سيكون لونُه أسود".

إنَّ فهمَنا الحديث لمصطلح "قانون الطبيعة" هو موضِع جدلٍ فلسفيٍّ طويل، وأكثر دقَّة ممَّا يعتقد المرءُ للوهلة الأولى. فمثلاً، قام الفيلسوف جون دَبليو كارول John W. Carroll بمقارنة مقولة "كلّ

كرات الذهب التي قطرُها أقلُّ من ميل واحد"، مع مقولة "كلّ كرات اليورانيوم ـ 235 التي قطرها أقلّ من ميل واحد". ستخبرنا ملاحظاتنا للعالم بأنَّه لا وجود لكرات ذهبية بعرض ميلٍ واحد، كما أنَّنا نمتلك من الثقة ما يجعلنا نعتقد بأنَّ هذا لن يحدث، إلّا أنَّه لا يوجد سبب لدينا للاعتقاد بأنّه لا توجد واحدة منها، لذلك لا يمكن اعتبار تلك المقولة قانونا. من ناحية أخرى، فإنَّ مقولة: "إنَّ كرات اليورانيوم ـ 235 أقلُّ من ميل واحد" يمكن اعتبارها أحد قوانين الطبيعة، لأنَّه وَفقًا لما نعرفه من الفيزياء النووية، بمجرَّدِ أن تتكوَّن كرة يورانيوم ـ 235 ويصل قطرها لأكبر من حوالَي ستِّ بُوصاتٍ، فإنَّها ستدمِّرُ نفسَها في انفجار نوويٍّ. ومن ثَمَّ، يمكننا التأكيد على عدم وجود تلك الكرات (ستكون فكرة جيّدة لو حاولت تصنيع واحدة). هذا التمييز مُهمٌّ؛ لأنَّه يوضِّح أنَّه لا يمكنُ اعتبار كلّ التعميمات، التي نلاحظها قوانين للطبيعة، وأنَّ معظم قوانين الطبيعة توجد كجزءٍ من نظامٍ أكبرَ من القوانين المترابطة.

في العلم الحديث، تتمُّ صياغة قوانين الطبيعة رياضيًّا. وهي تكون إمّا مضبوطة أو تقريبية، لكن يجب ملاحظة أنَّها متماسكة بلا استثناء ـ إن لم يكن كليًّا، أو على الأقلِّ في ظِلِّ مجموعة شروط منصوص عليها. فعلى سبيل المثال، نحن نعرف الآن أنَّ قوانين نيوتن يجب تعديلُها في حالة تحرّك الأجسام بسرعاتٍ تقترب من سرعة الضوء، إلّا أنَّنا ما زلنا نعتبر أنَّ قوانين نيوتن، قوانين لأنَّها لا تزال سائدة، على الأقلِّ بتقريب جيِّد، في شروط الحياة اليوميَّة، حيثُ تقلُّ جدًّا السرعاتُ التي نقابلها عن سرعة الضوء.

إذا كانت الطبيعة محكومة بالقوانين، فسوف تنشأُ ثلاثةُ أسئلة:

1. ما مصدرُ القوانين؟

2. هل هناك أيّة استثناءات للقانون، كالمعجزات مثلاً؟
3. هل توجد فقط مجموعة واحدة من القوانين الممكنة؟

لقد طُرحت تلك الأسئلةُ المُهمّة بطرق مختلفة من قِبل العلماء والفلاسفة واللاهوتيين. وتمّ تقديم إجابات تقليدية عن السؤال الأوّل ـ وهي إجابات كبلر وجاليليو وديكارت ونيوتن ـ والتي كان مفادها أنَّ هذه القوانين من صُنع الله. إلّا أنَّ هذا لا يعدو كونه تعريفًا للإله على أنَّه تجسيدٌ لقوانين الطبيعة. وما لم يمنح المرء الإله بعض السمات الأخرى، كأن يكون إلهًا للعهد القديم، فإنَّ توظيفَه في الإجابة عن السؤال الأوّل ستستبدل وحسب اللغز بلغز آخر. لذلك إذا أقحمنا الله في الإجابة عن السؤال الأول، فإنَّ انهيارًا حقيقيًّا سوف يأتي مع السؤال الثاني: هل هناك معجزات أو استثناءات للقوانين؟

انقسمت الآراء حول الإجابة عن السؤال الثاني بشكل حادٍّ. فأفلاطون وأرسطو، وهما أكثر كُتّاب الإغريق القدامى تأثيرًا، قد أقرَّا بأنَّه لا يمكن أن تكون هناك استثناءاتٌ للقوانين. لكن إذا أخذ المرءُ الرؤية الإنجيلية، فإنَّ الله لم يخلُقِ القوانينَ وحسب، بل يمكن أن يطالبَه المُصلّون بصنع استثناءات ـ لشفاء المرضى ذوي الحالات المستعصية، أو لوضع حدٍّ للجفاف قبل الأوان، أو لاستعادة لعبة الكروكيه croquet لتكون ضمن الألعاب الأوليمبية. وفي تناقض مع رؤية ديكارت، أبقى أغلبُ المُفكِّرين المسيحيِّين على فكرة أنَّ الله يجب أن يكون قادرًا على تعليق العمل بالقانون لكي ينجز المعجزات. حتَّى نيوتن اعتقد بنوع من المعجزات، حيث اعتقد أنَّ مدار الكوكب لا بدَّ وأن يكون غيرَ مستقرٍّ، لأنَّ شدَّ قوّة جاذبية كوكب لكوكب آخرَ ستتسبَّبُ في اضطراب المدارات، وهو الاضطراب الذي يتزايد بمرور

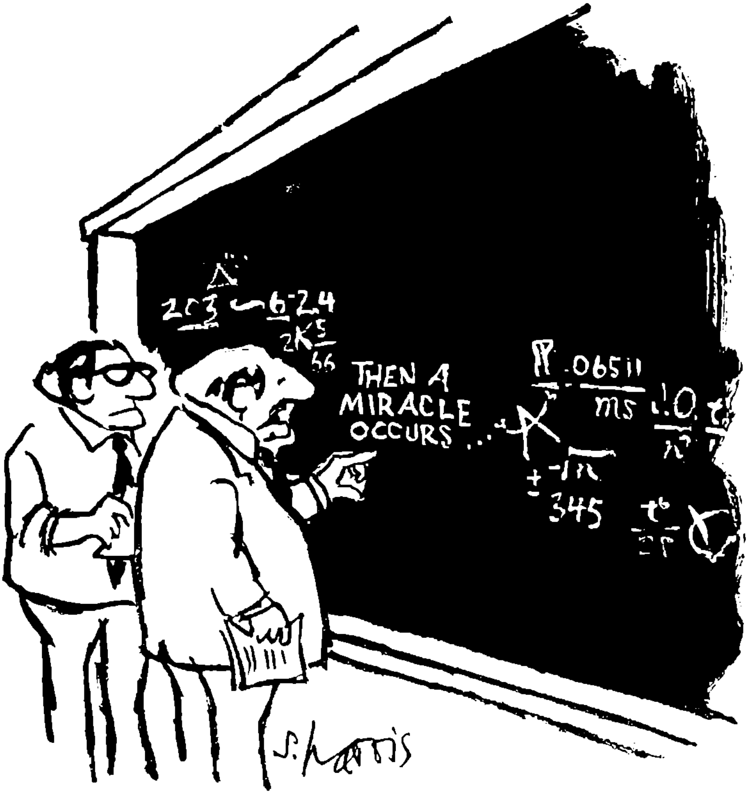
الوقت ممَّا ينتج عنه إمَّا سقوط الكوكب في الشمس، أو إفلاته خارج النظام الشمسيِّ، لذلك يجب أن يحافظ الله على إعادة ضبط تلك المدارات، كما كان يعتقد نيوتن، أو أن "يملأ الساعة السماوية، خشيةَ توقُّفها عن العمل". إلَّا أنَّ، بيير سيمون ماركيز دو لابلاس Pierre-Simon marquis de Laplace (1749 ـ 1827) الشهير باسم لابلاس Laplace، قد جادل بأنَّ الاضطرابات لا بدَّ وأن تكون دورية أكثر من كونها تراكمية، كما يتضَّح من تكرار الدورات. ولذلك لا بدَّ وأن يُعيد النظام الشمسيُّ ضبطَ نفسه، وبالتالي لا توجد حاجة لتدخُّلٍ إلهيٍّ لتفسير لماذا بقي هذا النظام على حاله إلى يومنا هذا.

إنَّه لابلاس، الذي يُعزَى إليه الفضلُ في أوّل افتراض واضح للحتمية العلمية scientific determinism بمنح حالة الكون في لحظة ما، مجموعةً كاملةً من القوانين تحدِّد كلًّا من الماضي والمستقبل بشكلٍ تامٍّ، وهو ما يتطلّب بالضرورة استبعاد إمكانية المعجزات أو أيّ دورٍ فعَّال للإله. كانت الحتمية العلمية التي صاغها لابلاس هي إجابة العلماء المعاصرين عن السؤال الثاني. وهي في حقيقة الأمر قاعدةُ العلم الحديث كلّه، والمبدأ المهمُّ ضمن كتابنا هذا. فالقانون العلميُّ لا يُعدّ قانونًا علميًّا إنَّ كان صمودُه مرتبطًا فقط بعدم تدخُّل كائنٍ خارقٍ للطبيعة. ولإدراك ذلك، يُقال إنَّ نابليون قد سأل لابلاس كيف يمكن إفساح المجال لله في هذا التصوُّر، وقد ردَّ عليه لابلاس قائلًا: "سيّدي، أنا لست بحاجة لمثل هذا الفرض".

ولأنَّ الناسَ يعيشون في الكون ويتفاعلون مع الأشياء الأخرى بداخله، فإنَّ الحتميةَ العلمية يجب أن تنطبقَ على الإنسان أيضًا. فمع أنّ العديد يَقبلُون فكرة أنَّ الحتمية العلمية تحكم العمليات المادية.

فإنَّهم يقومون ببعض الاستثناء للسلوك البشريِّ لأنَّهم يعتقدون أنَّنا نمتلك إرادة حرَّة. ديكارت مثلًا، ولكي يحافظ على فكرة الإرادة الحرّة، أكَّد على أنَّ العقل الإنسانيَّ شيءٌ مختلِفٌ عن العالم الماديِّ ولا يتبع قوانينه. وبحسب رؤيته فإنَّ الشخص يتكوَّن من عنصرين، جسدٍ وروح. والأجساد لا تعدو شيئًا غير كونها آلاتٍ عادية، لكنَّ الروحَ ليست موضوعًا للقانون العلمي. لقد كان ديكارت مُولعًا بالتشريح وبعلم وظائف الأعضاء، واعتقد أنَّ عضوًا صغيرًا في منتصف المُخِّ، يُسمَّى الغدة الصنوبرية، هو المَقرُّ الأساسيُّ للروح. كما اعتبر أنَّ تلك الغُدّة، هي المكان الذي تتكوَّنُ فيه جميعُ أفكارنا، وأنَّها منبع إرادتنا الحُرّة.

هل يمتلك الناس إرادةً حرَّة؟ وإن كنَّا نمتلك إرادة حُرَّة، فأين تطوَّرت هذه الإرادة الحرّة على شجرة التطوُّر؟ هل الطحالبُ الخضراء أو البكتريا تمتلك إرادةً حُرّة، أم أنَّها تتصرَّف بشكلٍ آليٍّ ضمن مجال القانون العلمي؟ وهل فقط الكائنات مُتعدِّدة الخلايا هي التي تمتلك الإرادة الحُرَّة، أم أنها الثدييَّات فقط؟ ربَّما نعتقد أنَّ الشمبانزي يُمارس الإرادة الحُرَّة عندما يختار التهام الموز، أو القطَّ عندما يقفز فوق أريكتك، لكن ماذا عن الدودة الأسطوانية التي تُسمَّى (الربداء الرشيقة) *Caenorhabditis elegans* ـ وهي مخلوقٌ بسيطٌ مكوَّنٌ من 959 خلية فقط؟ من المحتمل أنَّها لا تقولُ مثلًا: "إن تلك البكتريا التي يجب عليَّ تناولها طعمها بغيض"، لكنَّها تمتلك تفضيلًا مُحدَّدًا للطعام، فهي إمَّا أن تكتفيَ بتلك الوجبة غير الجذَّابة، أو تبحث عن مُؤنةٍ أفضلَ، معتمدةً على خبرتها الحديثة. فهل هذه ممارسة للإرادة الحُرَّة؟.



"أعتقد أنَّه ينبغي أن تكون أكثر وضوحًا هنا في الخطوة الثانية"

بالرغم من إحساسنا بالقدرة على اختيار ما نفعله، إلَّا أنَّ وعيَنا بالأساس الجزيئي للبيولوجيا قد أوضح أنَّ العملياتِ البيولوجيةَ تكون محكومةً بقوانين الفيزياء والكيمياء، ولذلك فهي مُحدَّدة تمامًا مثل مدارات الكواكب. وتدعم تجارب علم الأعصاب الحديثة الرؤية القائلة بأنَّ دماغنا الماديَّ، يخضع لقوانين العلم المعروفة التي تحدِّد أفعالنا، وليس لبعض القُوى الموجودة خارج تلك القوانين. فعلى

سبيل المثال عند دراسة المرضى الذين أُجريَت لهم جراحةٌ في المُخِّ أثناء اليقظة، وُجد أنَّه بإثارة بعض الأماكن المُعيَّنة في المُخِّ كهربائيًّا، يمكن للمرء أن يُولِّد لدى المريض رغبةً في تحريك اليد أو الذراع أو القَدم أو تحريك الشفاه والتحدُّث. من الصعب تخيُّلُ كيف تعمل الإرادة الحُرّة إذا كان سلوكنا يُحدِّده القانون الماديّ، ولذلك يبدو أنَّنا لسنا أكثر من آلاتٍ بيولوجية، وأنَّ الإرادة الحُرَّة مُجرَّدُ وَهم.

مع تسليمنا بحقيقة أنَّ السلوك البشريَّ يمكن تحديدُه وفقًا للقوانين الطبيعية، سيبدو من المعقول أيضًا الإقرار بأنَّ النتيجة التي يمكن تحديدُها بتلك الطريقة المُعقَّدة وبتلك التنويعات المُتعدِّدة، سيكون من المستحيل التنبُّؤَ بها في الممارسة. ولهذا، فإنَّ المرء سيحتاج لمعرفة الحالة الابتدائية لكلِّ ألف ترليون ترليون جزيء في الجسم البشري، وأن يقوم بحلِّ عدد مماثل من المعادلات، وهو ما سيستغرق بعض مليارات السنين، بما يعني التأخُّر قليلًا عن تفادي لكمة يسددها لك شخصٌ ما.

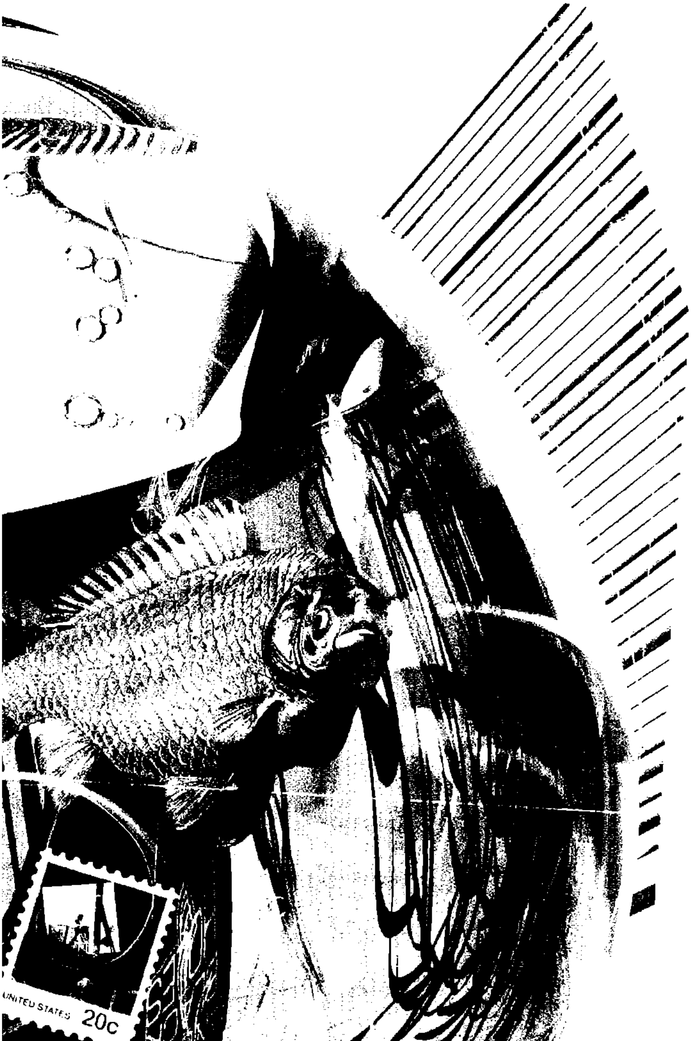
ولأنَّ استخدام القوانين المادية الأساسية للتنبُّؤ بالسلوك البشري هو أمر غير عملي تمامًا، فسنتبنَّى ما يُسمَّى بنظرية التأثيرات effec-tive theory. ونظرية التأثيرات في الفيزياء هي إطار تمَّ وضعه لعمل نموذج لبعض الظواهر التي يتمّ مشاهدتها دون وصف تفصيلي لكلِّ العمليات التي تقوم عليها. فعلى سبيل المثال، لا يمكننا أن نحلَّ بالضبط المعادلات التي تحكم التفاعلات الجاذبية البينية لكلِّ ذرَّة في جسم الإنسان مع كلِّ ذرَّة في الأرض. لكن لكافَّة الأغراض العملية، فإنَّ قوَّة الجاذبية بين الشخص وبين الأرض يمكن وصفها بمصطلحات قليلة العدد، مثل كتلة الشخص الكُلّيّة. وبشكل مشابه،

لا يمكننا حلّ المعادلات المتحكِّمة في سلوك مُركَّب من الذرَّات والجزيئات، لكنَّنا قد طوَّرنا نظريةً فعَّالةً مسمَّاةً بالكيمياء chemistry، تعطينا تفسيرًا كافيًا للكيفية التي تتصرَّف بها الذرَّاتُ والجزيئات أثناء التفاعلات الكيميائية، دونما اعتبار لكلّ تفاصيل التفاعل البينيِّ. وفي حالة البشر، ولأنَّنا لا نستطيع حلَّ المعادلات التي تحدِّد سلوكنا، فإنَّنا نستخدم نظرية تأثيرات تقول بأنَّ الناس لديهم إرادةٌ حُرّة. ودراسة إرادتنا، والتصرُّفات الناجمة عنها، هو ما يُسمَّى بعلم النفس psy-chology. الاقتصاد أيضًا نظريةٌ فعّالة، تقوم على فكرة الإرادة الحُرَّة، مع افتراض أنَّ الناس تقوم بتقييم البدائل عن طرق أفعالهم الممكنة ويختارون الأفضل. تلك النظرية الفعَّالة ناجحة فقط على المدى المتوسط في التنبُّؤ بالسلوك، لأنَّه وكما نعرف جميعًا، فإنَّ قراراتِ الناس ليست عقلانية أو منطقية غالبًا، أو أنَّها تقوم على نقص في تحليل تبعات اختيارهم. ولهذا يكون العالم في هذه الفوضى.

يتناول السؤال الثالث مسألة إذا ما كانت القوانين المُحدّدة لكلٍّ من الكون والسلوك البشري هي قوانين فريدة. لو كانت إجابتك عن السؤال الأوّل بأنَّ الله قد خلق القوانين، فإنَّ السؤال الذي سيطرح نفسه بالتالي هو، هل كان لدى الله أيَّة حريَّة في اختيار تلك القوانين؟ لقد اعتقد كلٌّ من أرسطو وأفلاطون وأيضًا ديكارت وآينشتاين فيما بعد، أنَّ قوانين الطبيعة موجودة بصرف النظر عن الضرورة، بما يعني أنّها القواعد الوحيدة التي يكون لها معنًى منطقيٌّ. ونتيجة لاعتقاده بنشأة قوانين الطبيعة من المنطق، فإنَّ أرسطو وأتباعه قد أحسُّوا بأنَّ المرء يمكنه أن يشتقَّ تلك القوانين دونما اهتمام كبير بكيفية تصرّف الطبيعة في الواقع. كان هذا، مع التركيز على سبب اتِّباع الأشياء

للقواعد بدلًا من تحديد ماهية تلك القواعد، هو ما قاد أرسطو إلى القوانين النوعية الرئيسية، التي كانت خطأً في الغالب ولم يثبت أنَّ لها أيَّةَ فائدةٍ على أيِّ حالٍ، مع أنَّها أسهمت في سيادة بعض الأفكار العلمية لعدة قرون. وفي وقتٍ متأخِّرٍ جدًّا فقط، تجاسر بعضُ الناس مثل جاليليو على تحدِّي سلطةِ أرسطو، وقاموا بملاحظة ما تقوم به الطبيعة فعليًّا، بدلًا ممّا يقوله العقل المحض عما ينبغي أن تفعل.

إنَّ هذا الكتاب يؤصِّل لمفهوم الحتمية العلمية، التي تستلزم أنَّ الإجابة عن السؤال الثاني تقتضي عدم وجود معجزات أو استثناءات في قوانين الطبيعة. ومع ذلك، سنعود لطرح السؤالين رقم واحد وثلاثة بشكلٍ أعمق، عن الكيفية التي نشأت بها القوانين، وإذا ما كانت هذه هي القوانين الممكنة فقط أم لا. لكنَّنا سنتناول في بداية الفصل التالي المواضيع التي تصفُها قوانين الطبيعة تلك. حيث يقول معظم العلماء إنَّها انعكاس رياضي للواقع الخارجي الموجود بشكلٍ مستقلٍّ عن الملاحظ الذي يرى هذا الواقع. لكنّ عند التفكير مليًّا في طريقة ملاحظاتنا التي نُكوِّن بها المفاهيم عمَّا يحيط بنا، فإنَّنا سنقع في فخِّ السؤال التالي، هل لدينا فعلًا سببٌ يدعونا للاعتقاد بوجود هذا الواقع الموضوعيِّ؟


UNITED STATES 20c

الفصل الثالث

ما الواقع؟

حظر مجلس مدينة مونزا بإيطاليا منذ عدَّة سنواتٍ على مالكي الحيوانات الأليفة الاحتفاظ بالسمكة الذهبية(*) goldfish في أحواض السمك الكروية. وقد فسَّر مسئول الإجراءات تلك الضوابط جزئيًا بقوله: "إنَّه لشيءٌ وحشيٌّ الاحتفاظ بالسمكة في حوض سمك مُقوّس الجوانب، فعندما ستحدِّق السمكة في الخارج ستتكون لديها صورة مْشوّهة عن الواقع". لكن كيف يتسنَّى لنا معرفة أنَّنا نمتلك صورة حقيقية وغير مُشوَّهة عن الواقع؟ ولماذا لا نكون نحن أنفسنا داخل بعض أحواض السمك الكبيرة وبالتالي تكون رؤيتُنا نحن مُشوَّهةً في عين ضخمة أخرى؟ إنَّ صورةَ السمكة الذهبية عن الواقع تختلف عن صورتنا، لكن هل يمكننا التأكُّد من أنَّها أقلُّ واقعية؟

إنَّ رؤية السمكة الذهبية لا تشبه رؤيتنا، لكنَّه لا يزال باستطاعتها صياغة القوانين العلمية التي تحكم حركة الأشياء التي تلاحظها خارج حوض السمك الخاصِّ بها. فمثلًا بسبب هذا التشوُّه، فإنَّ الجسمَ المُتحرِّكَ بحُرِّية والذي نلاحظ أنَّه يسير في خطٍّ مستقيم،

ستراه السمكة الذهبية يتحرَّك في مسارٍ مُنحنٍ. ومع ذلك، فإنَّ السمكة الذهبيّة تستطيع صياغة القوانين العلميةِ من إطار مرجعيَّتِها المُشوَّه ذلك، والذي يُعتبر حقيقيًّا دائمًا، كما يُمكِّنها من التنبُّؤ بحركة الأشياء خارج حوض السمك. قد تكون قوانينُ السمكة الذهبية أكثرَ تعقيدًا من القوانين الموجودة في إطارنا مرجعيَّتِنا لأن البساطة مسألة تذوُّق. وإذا صاغت السمكة الذهبية نظريةً كتلك، فإنَّ علينا التسليمَ برؤية السمكة الذهبية كصورةٍ صالحةٍ للواقع.

والمثال الشهير للصور المختلفة عن الواقع، هو النموذج الذي قدَّمه بطليموس Ptolemy (85 ـ 165) حوالي 150 عام بعد الميلاد، لوصف حركة الأجسام السماوية. فقد أصدر بطليموس عملَه في رسالةٍ مُكوَّنةٍ من ثلاثةَ عشرَ كتابًا عُرفت بعنوانها العربيِّ عادةً، "المجسطي"(*) Almagest. ويبدأ المجسطي بشرح أسباب التفكير في أنَّ الأرض كروية وأنَّها لا تتحرّك، وكونها متموضعةً في مركز الكون، وصغيرة بشكل تافهٍ مقارنةً باتِّساع السماوات. حتَّى مع وجود نموذج أريسطرخس Aristarchus الذي تكون فيه الشمس في المركز -helio centric، فقد تمسَّك معظمُ المتعلِّمين اليونانيين بتلك الأفكار منذ عهد أرسطو على الأقلِّ، والذي اعتقد لأسباب غامضةٍ أنَّ الأرض يجب أن تكون في مركز الكون. ففي نموذج بطلَيموس تقف الأرض ساكنةً في المركز وتدور حولها الكواكبُ والنجومُ في مدارات معقَّدة تشمل أفلاكَ التدوير epicycles، كعَجَلاتٍ فوق عَجلات.

يبدو هذا النموذج واقعيًا لأنَّنا لا نشعرُ بأنَّ الأرض تتحرَّك تحت أقدامنا (إلَّا في حالات الزلازل أو في لحظات الهلع). وقد قام التعليمُ

(*) كتاب المجسطي اسمه الأصلي باليونانية μαθηματικ σύνταξις والتي تلفظ ماثماتيكا سينتاكسيس، وتعني الأطروحة الرياضية ـ المترجم.



الكونُ البطليموسي: حسب رؤية بطليموس، نحن كنّا نعيش في مركز الكون

الأوربيُّ فيما بعد على المصادر اليونانية التي جرى تجاوزها. وهكذا أصبحت أفكار أرسطو وبطليموس أساسًا للكثير من الفكر الغربي.

لذا فأيّهما هو الحقيقيُّ، نظام بطليموس أم نظام كوبرنيكوس؟ مع أنَّه ليس من غير الشائع القول بأنَّ كوبرنيكوس قد أثبت خطأ بطليموس، إلَّا أنَّ ذلك غير حقيقيٍّ. وكما في حالة رؤيتِنا الطبيعية في مقابل رؤية السمكة الذهبية، يمكن للمرء استخدام أيِّ صورة من الصورتين كنموذج للكون، وبالنسبة لملاحظاتنا عن السماوات، فيمكن تفسيرها بإرجاعها لاستقرار الأرض أو الشمس. وبالرغم من دوره في الجدل الفلسفي حول طبيعة كوننا، إلَّا أنَّ ميزة نظام كوبرنيكوس ببساطة هي أنَّ معادلاتِ الحركة فيه كانت أبسط بكثير في الإطار المرجعيِّ الذي تكون فيه الشمس مستقرَّة.

هناك نوعٌ مختلفٌ من الواقع البديل كما يحدث في فيلم الخيال العلميِّ: المصفوفة The Matrix، ففيه يعيش الجنس البشري بلا دراية في واقع مُقَلَّدٍ غيرِ حقيقيٍّ، تمَّ خلقه من قبل كمبيوترات ذكية

ففي عام 1741 صدر تصريح من البابا بنديكت الرابع عشر بطباعة كل كتب جاليليو. وفي عهد البابا بيوس السابع عام 1822 صدر تصريح بطباعة كتاب عن النظام الشمسي لكوبرنيكوس وأنه يمثل الواقع الطبيعي. وفي عام 1939 قام البابا بيوس الثاني عشر بعد أشهر قليلة من ترسيمه لمنصب البابوية بوصف جاليليو "كأكثر أبطال البحوث شجاعة.. لم يخش من العقبات والمخاطر ولا حتى من الموت". وفي 15 أكتوبر 1992، قام الكاردينال راتزنجر، والذي أصبح لاحقًا البابا بندكت السادس عشر (في خطاب لجامعة لا سابينزا بوصف جاليليو "بحالة عرضية سمحت لنا أن نرى مدى عمق الشك بالذات" في علوم وتكنولوجيا العصر الحديث). وفي 31 أكتوبر 1992 تقدّمت الهيئة العلمية بتقريرها إلى البابا يوحنا بولس الثاني الذي قام على أساسه بإلقاء خطبة، وفيها قدّم اعتذارًا من الفاتيكان على ما جرى لـ جاليليو جاليلي أثناء محاكمته أمام الفاتيكان عام 1623، وحاول البابا إزالة سوء التفاهم المتبادل بين العلم والكنيسة. وأعاد الفاتيكان في 2 نوفمبر 1992، لـ جاليليو كرامته وبراءته رسميًا، وقرر عمل تمثال له. وفي مارس 2008 قام الفاتيكان بإتمام تصحيح أخطائه تجاه جاليليو بوضع تمثال له داخل جدران الفاتيكان، وفي ديسمبر من العام نفسه أشاد البابا بندكت السادس عشر بإسهاماته في علم الفلك أثناء احتفالات الذكرى الأربعمائة الأولى لـ تليسكوب جاليليو. ـ المترجم.

للحفاظ عليهم قانعين ومسالمين، بينما تمتصُّ تلك الكمبيوترات طاقاتهم البيولوجية (مهما كانت). قد لا يُمثّل هذا الأمر دهشة كبيرة، إذ إنَّ كثيرًا من الناس قد يفضّلون تمضية وقتهم في واقع مقلَّد على شبكة الإنترنت كحياة ثانية. فكيف لنا أن نعرف أنَّنا لسنا شخصيات في كمبيوتر يُنتج الأوبرا الصابونية(*) soap opera؟ لأنَّنا إذا كنَّا نعيش في عالم صناعي مُتخيّل، فلن يكون للأحداث بالضرورة أيُّ منطقٍ أو تماسك ولن تخضع لأيِّ قانون. وربَّما تجد الكائنات الفضائية المسيطرة أنَّ مشاهدة تفاعلاتنا عملية مُسلِّية أو مُثيرة جدًّا، كأن ينقسم القمر الكامل إلى نصفين مثلًا، أو تتولّد لدى كلِّ شخص في العالم يقوم بعمل رجيم، رغبةٌ شرهةٌ لالتهام شطيرة موز بالكَريمة. لكن إذا افترضت الكائنات الفضائية قوانين مُتَّسِقة، فلن يكون هناك بدٌّ من القول بأنَّ هناك واقعًا آخرَ وراء هذا الواقع الزائف. وسيكون من السهل تسميةُ العالم الذي تعيش فيه تلك الكائنات الفضائية "بالعالم الحقيقيِّ" وتسمية العالم الاصطناعيِّ "بالعالم المُزيف". لكن، كما في حالتنا، لو أنَّ الكائناتِ الموجودةَ في العالم الزائف لم تستطع الحملقة في كونها من الخارج، فلن يوجد لديها سببٌ للشكِّ في صورتها الخاصّة عن الواقع. وهو ما يعتبر نسخة حديثة من فكرة أنَّنا جميعًا محض خيالات في حُلم شخصٍ آخر.

تؤدِّي بنا تلك الأمثلةُ إلى استخلاص سيكون مُهمًّا في هذا الكتاب: وهو أنّه لا وجود لمفهوم "صورة أو نظرية" مستقلّة عن الواقع. وبدلًا من ذلك سنتبنَّى وجهة النظر التي سندعوها بالواقعية المُعتمدة على

(*) الأوبرا الصابونية: مسرحيّة إذاعية أو تليفزيونية مسلسلة، تُعالج مشكلاتِ الحياة اليوميّة ـ المترجم.

النموذج model-dependent realism وهي فكرة مفادُها أنَّ النظرية الفيزيائية أو الصورة المُتكوّنة عن العالم ماهي إلَّا نموذج (ذو طبيعةٍ رياضية عمومًا) مع مجموعة الأحكام التي تصل مواد هذا النموذج بالرصد، الأمر الذي يوفِّر لنا إطارًا لتفسير العلم الحديث.



هذه رسالة مسجلة.. هذا لا يهمني، أنا صورة ثلاثية الأبعاد

لقد تجادل الفلاسفةُ بدايةً من أفلاطون وما بعده وعلى مرِّ السنين حول طبيعة الواقع. فالعلمُ الكلاسيكي يقوم على الاعتقاد بوجود

عالم خارجيٍّ حقيقيٍّ تكون خصائصُه مُحدَّدة ومستقلَّةً عن الملاحظ الذي يدركها. ووفقًا لهذا العلم الكلاسيكي، فإنَّه توجد أشياءُ معيَّنةٌ ذاتُ خصائصَ فيزيائيةٍ مثل السرعة والكتلة، ويكون لها قيمٌ مُحدَّدةٌ جيِّدًا. وفي هذه الرؤية، فإنَّ نظريَّاتِنا هي عبارة عن محاولات لوصف تلك الأشياء وخصائصها، كما تستجيب قياساتُنا وإدراكنا لهذا. وكلٌّ من الملاحِظ والملاحَظ، هما جزءان من عالَم له وجودٌ موضوعيٌّ، وأيُّ تمييز بينهما ليس له أيُّ أثر ذي معنى. وبكلمات أخرى، إذا رأيت قطيعًا من الحمير الوحشية يتقاتل من أجل موضع في مرأب السيَّارات، فلأنَّ هناك قطيعًا من الحمير الوحشية يتقاتل حقيقة من أجل موضع في مرأب السيارات. وكلُّ الملاحظين الآخرين الذين ينظرون سوف يقيسون الخصائصَ نفسَها، وسيكون للقطيع تلك الخصائص سواء لاحظها أيُّ شخصٍ أم لا. ويُسمَّى هذا الاعتقاد في الفلسفة بالواقعية.

مع أنَّ الواقعية تعتبر "وجهة نظر" مغرية، كما سنرى فيما بعد، إلَّا أنَّ ما نعرفه عن الفيزياء المعاصرة يجعل من الصعب على المرء الدفاع عنها. فعلى سبيل المثال، وفقًا لمبادئ ميكانيكا الكمّ، التي تعتبر وصفًا دقيقًا للطبيعة، فإنَّ الجسم ليس له موضعٌ مُحدَّدٌ ولا سرعة مُحدَّدة حتَّى يتمَّ قياس هاتين الكمّيّتين بواسطة ملاحظ. وبالتالي فليس صحيحًا القول إنَّ القياس يُعطي نتائجَ معيَّنة لأنَّ الكمية المُقاسة تكون لها تلك القيمة في وقت القياس. ففي الواقع، في بعض الحالات فإنَّ الأشياء الفردية لن يكون لها وجودٌ مستقلٌّ حتَّى، لكنَّها تتواجد فقط كجزءٍ ضمن مجموع أكبر. وإذا ثبت صحَّةُ النظرية المُسمَّاة بالمبدأ الهولوجرامي holographic principle، فقد نكون نحن وعالمنا رباعيّ الأبعاد ظلالًا على حدود زمكان أكبر خماسيّ الأبعاد. وفي تلك

الحالة، سيكون وضعُنا في الكون مشابهًا لوضع السمكة الذهبية.

وغالبا يُجادل الواقعيُّون المُتشدِّدون بأنَّ دليل تمثيل النظريَّات العلمية للواقع يكمن في نجاحها. لكن يمكن للنظريَّات المختلفة أن تصف الظاهرة نفسها انطلاقًا من أُطُر مفاهيمية متفاوتة. وفي الواقع، فإنَّ العديد من النظريَّات العلمية التي ثبت صحَّتُها، تمَّ استبدالها فيما بعد بنظريَّات أخرى تساويها في النجاح وتقوم على مفاهيم للواقع جديدة كُلِّيًّا.

وعادةً ما يُسمَّى هؤلاء الذين لا يقبلون الواقعية باللاواقعيّين anti-realists. ويفترض اللاواقعيُّون تمييزًا بين المعرفة التجريبية والمعرفة النظرية. ويجادلون تحديدًا بأنَّ الملاحظةَ والتجربةَ لهما معنًى، لكنَّ النظريّاتِ ليست سوى أدواتٍ مُفيدةٍ لكنَّها لا تجسِّد أيَّة حقائق تكمن في الظاهرة التي يجري ملاحظتها. وقد أراد بعض اللاواقعيين قصر العلم على الأشياء التي يمكن ملاحظتها. ولهذا السبب رفض العديد منهم في القرن التاسعَ عشرَ فكرة الذرَّات على أساس أنَّنا لن نتمكَّن من رؤية أيٍّ منها أبدًا. حتَّى إنَّ جورج بيركلي George Berkeley (1685 – 1753) قد ذهب لأبعدَ من ذلك عندما قال: "لا يوجد أيُّ شيء سوى العقلِ وأفكاره". وعندما أرسل أحد الأشخاص ملاحظة إلى صديقه مؤلِّف القواميس الإنجليزيِّ د. صامويل جونسون Dr. Samuel Johnson (1784 – 1790) يُبدي فيها عدم إمكانية دحض ادِّعاء بيركلي، يقال إنَّ جونسون قد سار باتِّجاه صخرة كبيرة ثم ركلها مُعلنًا: "أنا أدحضها هكذا". بالطبع فإنَّ الألم الذي أحسَّ به الدكتور جونسون في قَدمه كان أيضًا فكرة داخل عقله، وبالتالي فهو لم يدحض فعليًّا فكرة بيركلي. لكنَّ فعلته قد أوضحت نظرة الفيلسوف ديفيد هيوم Da-

vid Hume (1711 – 1776)، الذي كتب "بالرغم من عدم وجود أسباب عقلانية تدعونا للاعتقاد في الواقع الموضوعي، إلَّا أنَّنا أيضًا لا نمتلك خيارًا سوى التصرُّف على أنَّه حقيقة".

والواقعية المُعتمدة على النموذج تُنهي هذا الجدل والنقاش الدائرين بين مدارس التفكير الواقعية واللاواقعية.



"كلاكما لديه شيءٌ مشتركٌ. الدكتور ديفيس اكتشف جزيئ لم يَرَه أحدٌ، والبروفيسور هيجبي اكتشف مجرَّة لم يرها أحدٌ"

فبحسب الواقعية المُعتمدة على النموذج، لا جدوى من السؤال عمَّا إذا كان النموذج حقيقيًّا أم لا إن كان يتوافق مع الملاحظة. فلو أنَّ هناك نموذجين يتوافق كلٌّ منهما مع الملاحظة، مثلنا نحن وصورة السمكة الذهبية، فلن يستطيع أحدٌ القول بأنَّ أحدَ النموذجين حقيقيٌّ

أكثر من الآخر. ويمكن أن يستخدم المرء أيًّا من النموذجين الذي يراه الأكثر ملائمة للحالة موضع الاعتبار. فعلى سبيل المثال، إذا كان الشخص داخل حوض السمك، فإنَّ تصوُّرَ السمكة الذهبية سيكون مفيدا. لكن بالنسبة لهؤلاء الموجودين خارج حوض السمك، فسيكون عملًا أخرق تمامًا لو قاموا من مجرَّة بعيدة بوصف الأحداث في إطار حوض السمك على الأرض، خاصَّة وأنَّ حوض السمك سيتحرَّك مع حركة الأرض وهي تدور حول الشمس أو وهي تلفُّ على محورها.

نحن نقوم بعمل نماذج في العلم، لكنَّنا نقوم بعملها في الحياة اليومية أيضًا. فالواقعية المعتمدة على النموذج لا تنطبق فقط على النماذج العلمية، لكن أيضًا على النماذج الذهنية الواعية وغير الواعية، التي نقوم بخلقها جميعًا لفهم عالم الحياة اليومية وتفسيره. ولا توجد طريقة لإزالة الملاحظ ـ الذي هو نحن ـ من عملية إدراكنا للعالم الذي يتمُّ خلقه من خلال معالجتنا الحسِّية ومن الطريقة التي نفكِّر ونعلل بها. إنَّ إدراكنا ـ ومن ثَمَّ ملاحظاتنا التي تقوم عليها نظريَّاتنا ـ ليس مباشرًا، لكنَّه يتشكَّل بالأحرى بنوع العدسة، بالبنية التفسيرية لأدمغتنا البشرية.

إنَّ الواقعية المعتمدة على النموذج تتوافق مع طريقة إدراكنا للأشياء. ففي الإبصار مثلًا، يستقبل دماغ المرء سلسلة من الإشارات من خلال العصب البصَريِّ. لا تشكِّلُ تلك الإشارات نوع الصورة التي تستقبلها في التليفزيون. فهناك بقعةٌ عمياءُ عند اتّصال العصب البصَريِّ بالشبكية، وبالتالي فإنَّ جزءًا من مجال الرؤية الذي يتَّسمُ بوضوح الرؤية جدًّا، هو فقط المنطقة الضيقة بمقدار حوالَي درجة

واحدة من الزاوية البصرية حول مركز الشبكية، مثل عرض إبهامِك عند مقارنته بطول ذراعك. وهكذا، فالبيانات الخامّ التي يتمُّ إرسالها للدماغ تكون مثل صورة مشوّشة وبها ثقبٌ في منتصفها. لكن لحُسن الحظِّ، فإنَّ الدماغَ البشريَّ يقوم بمعالجة تلك البيانات، ويقوم بتركيب المدخلات الآتية من كلتا العينين، ويملأ الفجوات بافتراض تشابه الخصائص البصَرية للمواضع المتجاورة وإمكانية استيفائها. والأكثر من ذلك، أنَّه يقرأ ترتيبين من البيانات ثنائية الأبعاد من الشبكية ويخلق منهما الانطباع بالفضاء ثلاثيِّ الأبعاد. فالدماغ، بحسب كلماتنا، يبني صورة أو نموذجًا عقليًّا للواقع.

إن الدماغ بارعٌ جدًّا في بناء النماذج، بحيث لو ارتدى الناس نظَّاراتٍ تجعل الصورة مقلوبةً في أعينهم، فإنَّ أدمغتهم، ستُغيِّر النموذج بعد وقت قليل، وبالتالي سيرون مرَّة أخرى الأشياء بالطريقة الصحيحة. وإذا أُزيلت النظَّارات بعد ذلك، فإنَّهم سيرون العالم مقلوبًا لبرهةٍ من الزمن، ثم يتكيَّفون مرَّة أخرى. ويوضِّح هذا أنَّ ما نعنيه عندما يقول شخص: "أنا أرى كرسيًّا" بأنَّه يستخدم وحسب الضوء المُشتَّت بواسطة الكرسيّ لبناء صورة أو نموذج ذهنيٍّ عن الكرسيِّ. وإذا كان النموذج مقلوبًا، فمن حُسن الحظِّ أنَّ دماغَ المرء سوف يُصحِّحه قبل أن يحاول الجلوس على الكرسيِّ.

المشكلة الأخرى التي تحلُّها الواقعية المُعتمدة على النموذج، أو على الأقلِّ تتجنَّبُها، هي معنى الوجود. فكيف لي أن أعرف أنَّ المنضدة ما زالت موجودة إذا خرجت من الغرفة، ولم أعد أستطيع رؤيتها؟ ماذا يعني القول إنَّ الأشياء التي لا نستطيع رؤيتَها كالإلكترونات

الكواركات(*) - التي يُقال إنّها تُكَوِّن البروتون والنيوترون - موجودة؟ يمكن للمرء أن يمتلك نموذجًا للمنضدة تختفي فيه المنضدة عندما أغادر الغرفة وتُعاود الظهور في الموضع نفسه عندما أعود، لكنَّ هذا سيكون عملًا أخرق، فماذا لو حدث شيءٌ عندما أكون في الخارج، مثل سقوط السقف؟ وكيف يمكنني في نموذج اختفاء-المنضدة-عندما أغادر الغرفة. أن أُعلِّل حقيقةَ أنَّه في المرَّة القادمة التي أدخل فيها، فإنَّ المنضدة ستُعاود الظهور وهي مكسورة تحت حطام السقف؟ وهكذا، فالنموذج الذي تبقى فيه المنضدة ولا تختفي هو أكثر بساطةً ويتوافق مع الملاحظة. وهذا كلُّ ما يحتاجه المرء.

في حالة الجسيمات ما دون الذَّرِّية التي لا نستطيع رؤيتها، فإن الإلكترونات تعتبر نموذجًا مفيدًا إذ إنَّها تُفسِّر بعض الملاحظات، مثل المسارات في غرف السحاب والبقع الضوئية على أنبوبة التليفزيون، ومثل ظواهر أخرى عديدة. يقال إنَّ الإلكترون قد اكتشف في عام 1897 بمعرفة الفيزيائيِّ الإنجليزيِّ ج. ج. طومسون J. J. Thomson في مختبر كافينديش Cavendish بجامعة كامبريدج. حيث كان يقوم بتجارب على التيارات الكهربائية داخل أنابيب زجاجية مفرَغة، وهي الظاهرة التي تُعرف بأشعّة الكاثود cathode rays. وقد قادته تجاربه إلى استخلاص أنَّ الأشعّة الغامضة، مُكوّنة من كريات دقيقة جدًا بمثابة مُكوِّنات مادّية للذرّات، والتي كان يُعتقد حينئذٍ أنَّها الوحدة الأساسية غيرُ المرئية للمادّة. لم ير طومسون الإلكترون، ولم يكن افتراضه العلميّ مباشرًا ولا جرى توضيحه بطريقة تجريبية غير قابلة للشكّ. لكنَّ هذا النموذج قد أثبت أنَّه حاسمٌ في المجال التطبيقيِّ

(*) الجسيمات الدقيقة.

من العلوم الأساسية للهندسة. واليوم يؤمن كلّ علماء الفيزياء بوجو الإلكترونات، حتَّى لو لم يستطيعوا رؤيتها.



أشعة الكاثود(*): لا نستطيع أن نرى الإلكترونات المفردة،
لكن يمكننا رؤية التأثيرات التي تُنتجُها

الكواركات quarks، التي لا نستطيع أن نراها أيضًا، هي نموذ- لتفسير خصائص البروتونات والنيوترونات في نواة الذرَّة. ومع أنَّ يُقال إنَّ البروتونات والنيوترونات مصنوعة من كواركات، فإنّنا لر نلاحظ الكوارك أبدًا لأنَّ قوَّة الدمج بين الكواركات تتزايد مع كل محاولةٍ لفصلها، وبالتالي فإنَّ الكواركات الحُرَّة المعزولة لا يمكنه أن توجد أبدًا في الطبيعة. وبدلاً من ذلك، فإنَّها دائمًا ما تكون في مجموعات من ثلاثة (بروتونات ونيوترونات)، أو في أزواج مر

(*) سَيْل من الأشعة غير المنظورة، تنبعث من كاثود أنبوبة التفريغ الكهربي لضغط الغاز تتراوح بين 01. إلى 001. مم زئبق.

الكواركات والكواركات المضادّة (بايّ ميزونات) pi mesons، وهي تتصرّف كما لو أنَّها مرتبطةٌ بشريطٍ مطّاطيٍّ.

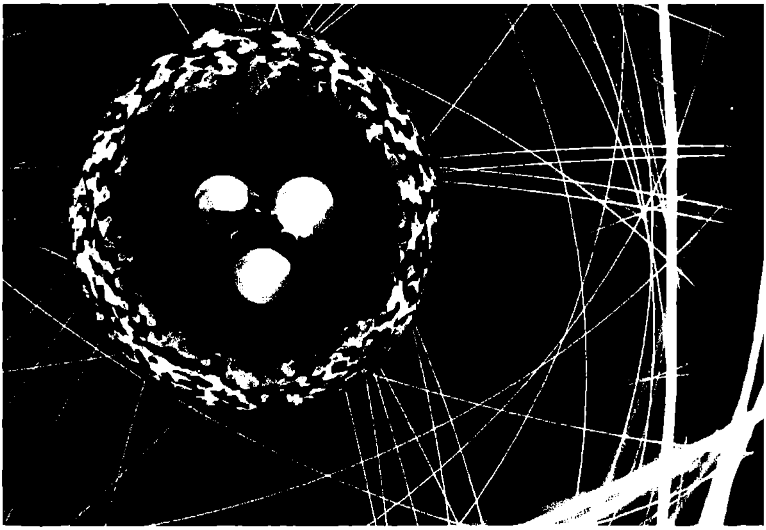
لقد كانت مسألة إن كان هناك معنًى للقول بوجود حقيقيٍّ للكواركات، إذا كنَّا غير قادرين على عزل واحد منها أبدًا، مسألة خلافية طيلة السنوات التي تلت افتراض نموذج الكوارك لأوَّل مرَّة. كانت الفكرةُ أنَّ هناك جزيئاتٍ معينةً مصنوعةً من تراكيبَ مختلفة من عدد قليل من الجسيمات أصغر من ما دون النووية، بافتراض توفُّر المبدأ المنظّم الذي يُقدّم تفسيرًا بسيطًا وجذّابًا لخصائصها. لكن بالرغم من أنَّ الفيزيائيين قد اعتادوا على قبول الجسيمات التي يستدلُّ على وجودها من الصور الإحصائية للبيانات التي تخصُّ تشتّت الجسيمات الأخرى، إلّا أنَّ فكرة إرجاع الواقع إلى جسيم غير قابل للملاحظة من حيث المبدأ، كانت أمرًا صعبًا على العديد من الفيزيائيين. إلّا أنَّه وعلى مدار السنين، فكلّما أدّى نموذج الكوارك لتنبُّؤات صحيحة أكثر وأكثر، خفتت تلك المعارضة. من الممكن طبعًا أنَّ بعض الكائنات الفضائية ذات السبعةَ عشرَ ذراعًا وبعيون تحت حمراء ولديها عادة نفخ رغاوى متخثّرة من آذانها، سوف تقوم بالملاحظات التجريبية نفسها التي نقوم بها، لكنّهم سيصفونها من دون الكواركات. ومع ذلك، فحسب الواقعية المعتمدة على النموذج، فإنَّ الكواركات توجد في النموذج المُتوافق مع ملاحظاتنا عن كيفية سلوك الجسيمات ما دون النووية.

يمكن للواقعية المعتمدة على النموذج أن تمدَّنا بإطار لمناقشة أسئلة مثل: إذا كان العالم مخلوقًا منذ زمن مُحدّد، فماذا حدث قبل ذلك؟ لم يجب القدِّيس أوغسطين St. Augustine (354 ـ 430)

الفيلسوف المسيحيِّ المبكِّر، بأنَّ الله كان يُعدُّ الجحيم في هذا الزمن لمن يسألون تلك الأسئلة. بل أجاب بأنَّ الزمن كان خاصية للعالم الذي خلقه الله، فالزمن لم يكن موجودًا قبل الخلق، وكان يُعتقد بأنَّ هذا الزمنَ ليس بهذا القِدم. هذا أحدُ النماذج المُحتمَلة، وهؤلاءِ الذين يفضِّلونه سيتمسَّكون بالتفسير الوارد بسِفر التكوين باعتباره صحيحًا حرفيًّا، حتَّى بالرغم من أنَّ العالم يحتوي على حفريَّاتٍ وأدلَّةٍ أخرى تجعله يبدو أقدم من ذلك بكثير، (هل وضعت تلك الحفريَّات هناك على سبيل المزاح معنا؟). يمكن أن يكون لدى المرء نموذجٌ مختلفٌ يستمرُّ فيه الزمن بالعودة 13.7 مليار سنة حتَّى الانفجار الكبير، نموذجٌ يفسِّر معظم ملاحظاتنا الحالية، مُتضمِّنةً كلَّ الأدلة التاريخية والجيولوجية، وهو أفضل تصوّر نمتلكه عمَّا جرى في الماضي. هذا النموذج الثاني يمكن أن يفسِّر الحفريَّات والسجلَّات الإشعاعية وحقيقة أنَّنا نستقبل الضوء من المجرَّات التي تبعد عنَّا بملايين السنين الضوئية، ولذلك فإنَّ هذا النموذج، نظرية الانفجار الكبير، يُعدُّ أكثر فائدةً من النموذج الأوّل. إلَّا أنَّه لا يزال غير ممكنٍ قول إنَّ أيًّا من النموذجَين أكثر واقعيةً من الآخر.

بعض الناس يدعمون النموذج الذي يرجع فيه الزمن حتَّى لأبعد من الانفجار الكبير. وليس واضحًا للآن إذا ما كان النموذج الذي يستمرُّ فيه الزمن بالرجوع قبل الانفجار الكبير، هو الأفضلُ لتفسير الملاحظات الحالية، لأنَّه يبدو أنَّ قوانين تطوُّر الكون ربَّما تتحطَّمُ عند الانفجار الكبير. فإذا كان الأمر كذلك، فلن يكونَ هناك معنى لخلق نموذج يتضمَّن الزمن قبل الانفجار الكبير، لأنَّ ما سيكون موجودًا عندئذٍ، لن تكون له أيّة تبعات ملحوظة بالنسبة للوقت الحاضر،

لذلك سنكون ملتصقين بفكرة أنَّ الانفجار الكبير كان لحظة خلق العالم.



الكواركات: مفهوم الكواركات عنصرٌ رئيسي لنظرياتنا عن الفيزياء الأساسية حتّى لو لم يكن ممكنًا ملاحظة الكواركات المفردة

إنّ أيَّ نموذجٍ يكون جيّدًا إذا كان:

1 ـ أنيقًا.

2 ـ يحتوي على [illegible] من العناصر [illegible] والقابلة للتعديل.

3 ـ يتوافق مع كل الملاحظات الموجودة [illegible] تفسيرها.

4 ـ يقوم [illegible] من الملاحظات المستقبلية التي يمكنها [illegible] إذا لم تكن [illegible]

[illegible]

للتعديل. لكنَّها في حالات عديدة لم تقم بتنبُّؤات مضبوطة، وعندما فعلت ذلك لم تكن التنبُّؤات متوافقة دائمًا مع الملاحظة. كان أحدُ هذه التنبُّؤات أنَّ الأجسام الأثقل يجب أن تسقط أسرع لأنَّ غايتها هي السقوط. ويبدو أنَّه لم يكن أحدٌ ليفكِّرَ في أهميَّة اختبار هذا حتَّى مجيء جاليليو، الذي تقول الرواية إنَّه قد اختبر ذلك بإسقاط أوزان من برج بيزا المائل. قد تكون هذه الرواية مشكوكًا في صحَّتها، لكنَّنا نعرف أنَّه قام بدحرجة أوزان مختلفة على سطح مائل، ولاحظ أنَّها جميعًا كانت تتسارع بالمعدَّل نفسه، بعكس تنبُّؤ أرسطو.

تعتبر المعايير السابقة ذاتية بشكل واضح. فالروعة مثلًا، ليست شيئًا يمكن قياسه بسهولة، لكن يتمُّ تقدير قيمتها بشكل كبير من قِبل العلماء، لأنَّ قوانينَ الطبيعة معنيّةٌ اقتصاديًّا بضغط العديد من الحالات الخاصَّة في صيغة بسيطة واحدة. وتعود الروعة إلى شكل النظرية، لكنَّها قريبة الصلة بنقص العناصر القابلة للتعديل، لأنَّ النظرية التي تزدحم بالعناصر الملفَّقة ليست رائعة تمامًا. وبحسب إعادة صياغة مقولة آينشتاين فإنَّه "يجب أن تكون النظرية غير معقّدة قدر الإمكان، لكن ليس إلى حدِّ التفاهة". لقد أضاف بطليموس أفلاك تدوير إلى المدارات الدائرية للأجسام السماوية، حتَّى يتمكّن نموذجه من وصف حركتها بدقّة. فيمكن جعل النموذج أكثر دقّة بإضافة أفلاك تدوير إلى أفلاك تدوير، أو حتَّى إلى أفلاك تدوير إضافية. ومع أنَّ إضافة التعقيد قد يجعل النموذج أكثر دقّة، إلَّا أنَّ العلماء ينظرون إلى النموذج الذي يتمُّ قصرُه على التوافق مع مجموعة معيَّنة من الملاحظات، على أنَّه نمرذج غيرُ مريحٍ، واعتباره ليس أكثر من فهرس للبيانات، أكثر من كونه نظريةً يُتوقّع منها تجسيد أيّ مبدأ مفيد.

سنرى في (الفصل الخامس) كيف أنَّ العديد من الناس ينظرون إلى

"النموذج القياسيّ" الذي يصف التفاعلات البينيّة لجسيمات الطبيعة الأولية، على أنَّه غير رائع. وهو نموذج أكثر نجاحًا بكثير من أفلاك تدوير بطليموس، حيث يتنبَّأ بوجود العديد من الجسيمات الجديدة قبل أن تتمَّ ملاحظتها. كما يصف مُحصّلة العديد من التجارب على مدى عِدَّة عقود بدقّة بالغة. لكنَّه يتضمَّن العديد من المعايير القابلة للتعديل، والتي يجب تثبيتُ قيمِها حتَّى تكون متوافقة مع الملاحظات، بدلا من أن تكون مُحدّدة بالنظرية نفسها.

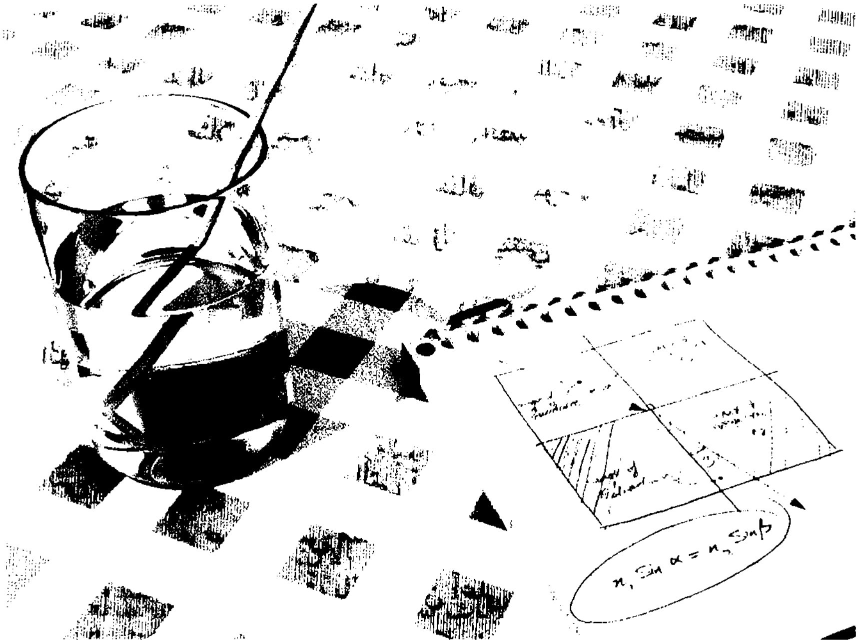
بالنسبة للنقطة الرابعة، فإنَّ العلماء يتأثّرون دائمًا عندما تثبت صحّة التنبُّؤات الجديدة المذهلة. ومن ناحية أخرى عندما يوجد عيب في النظام، فإنَّ ردَّ الفعل الشائع هو القول بأنَّ التجربةَ كانت خطأ. وإذا لم يثبت أنَّ هذا هو الحال، فإنّ الناسَ لا تتخلَّى في الغالب عن النموذج، لكن بدلًا من ذلك يحاولون الحفاظ عليه من خلال تعديله. وعلى الرغم من أنَّ علماء الفيزياء في الواقع يتمسَّكون في محاولاتهم لإنقاذ النظريَّات التي يعجبون بها، فإنَّ الميل لتعديل النظرية يتضاءل تدريجيًّا لدرجة أنَّ التبديلات تصبح اصطناعية ومزعجة، وبالتالي "غير أنيقة".

إذا أصبحت التعديلاتُ المطلوبة، لكي يتمّ التوافق مع الملاحظات الجديدة، تعديلاتٍ مُفرطةً في الزخرفة، فإنَّ ذلك يُعدُّ مُؤشِّرًا على الحاجة إلى نموذجٍ جديد. وأحد الأمثلة على نموذج قديم كان قد أخلى مكانه بتأثير قيمة الملاحظات الجديدة كانت فكرة الكون الساكن. ففي ثلاثينيات القرن العشرين، كان معظم الفيزيائيِّين يعتقدون أنَّ الكون إستاتيكيٌّ، أو أنَّ حجمَه لا يتغيَّر. وفي عام 1929، نشر إدوين هابل Edwin Hubble ملاحظاته التي أوضحت أنَّ الكون يتمدَّدُ. لكنَّ هابل لم يلاحظ مباشرةً أنَّ الكون يتمدَّد. بل كان يلاحظ

ء المنبعث من المجرَّات. وكان هذا الضوء يحمل بصمةً مميّز
قًا، بحسب تكوين كلّ مجرّة، ويتغيَّر بمقدار معلوم إذا كانت
ّة تتحرَّك بالنسبة لنا. وهكذا، استطاع هابل بتحليل أطياف
ّات البعيدة أن يُحدّد سرعاتها. وقد توقّع أن يجد عددًا كبيرًا من
ّات التي تتحرّك مُبتعدة عنّا، بقدر عدد المجرَّات التي تقترب
لّا أنّه وجد أنّ كلّ المجرّات تقريبًا تتحرّك مُبتعدةً عنّا، وكانت
ّات الأبعد تتحرَّك بسرعة أكبر. وقد استخلص هابل أنّ الكون
. لكنّ العلماء الآخرين حاولوا التمسُّك بالنموذج السابق
ا إلى تفسير ملاحظاته ضمن سياق الكون الساكن. فعلى سبيل
، اقترح الفيزيائي فريتز زويكي (...) من معهد كاليفورنيا
لوجيا، لأسباب غير معروفة حتّى الآن، أنّ الضوء ... يفقد

`نفجار الكبير... وهكــذا. فمع كلّ نظرية أو نمــوذج، كانت ت
ـاهيمُنا عن الواقع وعن العناصر الأساسية المكوّنة للكون. فلنت
ـرية الضوء مثلًا، حيث اعتقد نيوتن أنَّ الضوء مكوّنٌ من جسيمات
ـيات صغيرة. وهو ما يفسِّرُ لماذا يسافر الضوء في خطوط مستق
ـما اعتاد نيوتن أيضًا على تفسـير لماذا ينثني أو ينكسـر الضوء
ـوره من وسـط إلى آخر، مثل المرور من الهواء إلى الزجاج أو
ـهواء إلى الماء.

مع ذلك، لم يمكن استخدام نظرية الكريات تلك لتفسير الظ
ـي لاحظها نيوتن نفسه، والتي تُعرف بحلقات نيوتن. فإذا وض
ـدسة على قرص عاكس مستوٍ وسلطتَ عليها ضوء من لون و



الانكسار: استطاع نموذج نيوتن للضوء أن يفسِّر لماذا ينثني الضوء عند مروره من وسط إلى آخر، لكنَّه لم يستطع تفسير ظاهرة أخرى نسمّيها الآن حلقاتِ نيوتن

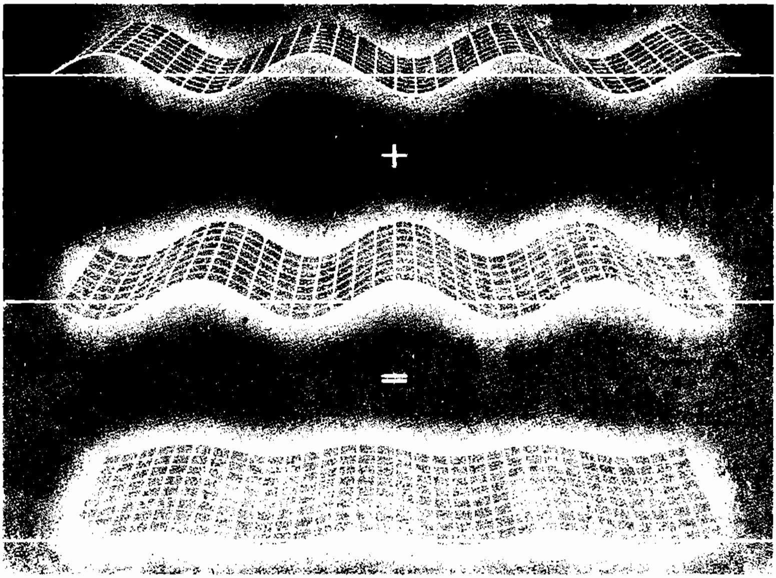
وتكون النتيجة موجة أكبر، وهو ما يسمّى "تداخل بَنّاء". في تلك الحالة يقال إنّ الموجتين متزامنتان in phase. من ناحية أخرى، عندما تتقابل موجتان فقد تتلاشى قمم موجة مع قيعان الموجة الثانية، وفي مثل تلك الحالة فإنَّ الموجتين تُلغيان إحداهما الأخرى ويقال عنها موجتان غيرُ متزامنتين out of phase، وفي تلك الحالة يُسمَّى هذا تداخل هدّام.

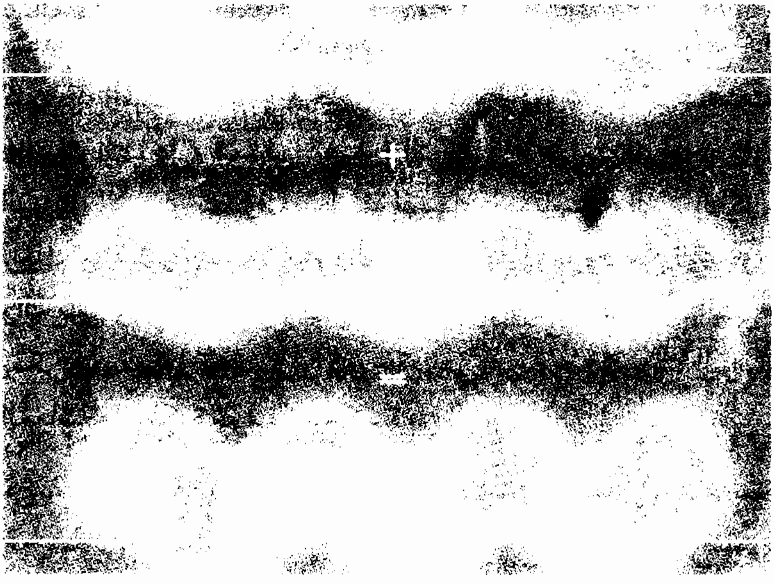
وفي حلقات نيوتن، فإنَّ الحلقات الساطعة تكون متموضعةً على مسافات من المركز، حيث التميز بين العدسة والقرص العاكس، ويتَّضح أنَّ الموجةَ المنعكسة من العدسة تختلف عن الموجة المنعكسة من القرص بأطوالِ مَوجيَّة ذات أعداد صحيحة "لا تتجزَّأ" (1، 2، 3،....) ممَّا يولِّد تداخلًا بنَّاءً. والطول الموجيُّ هو المسافة بين

قمّة موجة واحدة والقاع الذي يليها. من ناحية أخرى، فإن الحلقات المعتمة تتموضع على مسافات من المركز، حيث يتّضح التمييز بين الموجتين المنعكستين بأطوال مَوجيّة ذاتِ أعدادٍ كسريّة (½ 1 ,½ 2 , ... ½) ممّا يُسبّب تداخلاً هدّامًا، فالموجة المنعكسةُ من العدسة تُلغي الموجةَ المنعكِسةَ من القرص.

في القرن التاسع عشر، اتَّخذ هذا على أنَّه تأكيدٌ للنظرية الموجية للضوء، وأوضح أنَّ النظرية الجسيمية كانت خطأً. إلَّا أنَّ آينشتاين قد أوضح مُبكّرًا في القرن العشرين، أنَّ التأثير الكهروضوئيَّ (المستخدَم حاليًا في التليفزيون وفي الكاميرات الرقمية) يمكن تفسيرُه بجسيم أو بكمية الضوء التي تضرب الذرّة وتُحرِّر الإكترون. وبالتالي فإنَّ الضَّوء يتصرّف كجسيم وكموجة.

ربّما يكون مفهوم الموجات قد دخل إلى تفكير البشر لأنَّهم كانوا يشاهدون المحيط أو بِركة المياه بعد إلقاء حجر فيها. في الواقع إذا كنت قد ألقيتَ من قبلُ حجرين في بركة، فربّما تكون قد شاهدتَ حدوث التداخُل، كما في الصورة التي في الأعلى. وقد لوحظ أنَّ السوائل الأخرى تتصرّف بالطريقة نفسها، ربّما باستثناء النبيذ إن كان لديك كمية كبيرةٌ منه. إنَّ فكرة الجسيمات كانت مألوفة من الصخور والحصى والرمال. لكنّ تلك الثنائية موجة/ جسيم ـ فكرة أنّ الشيء يمكن وصفه إمّا كجسيم أو كموجة ـ هي غريبة عن تجربتنا اليومية المُعاشة مثل فكرة شُرب كمية كبيرة من الرملِ.

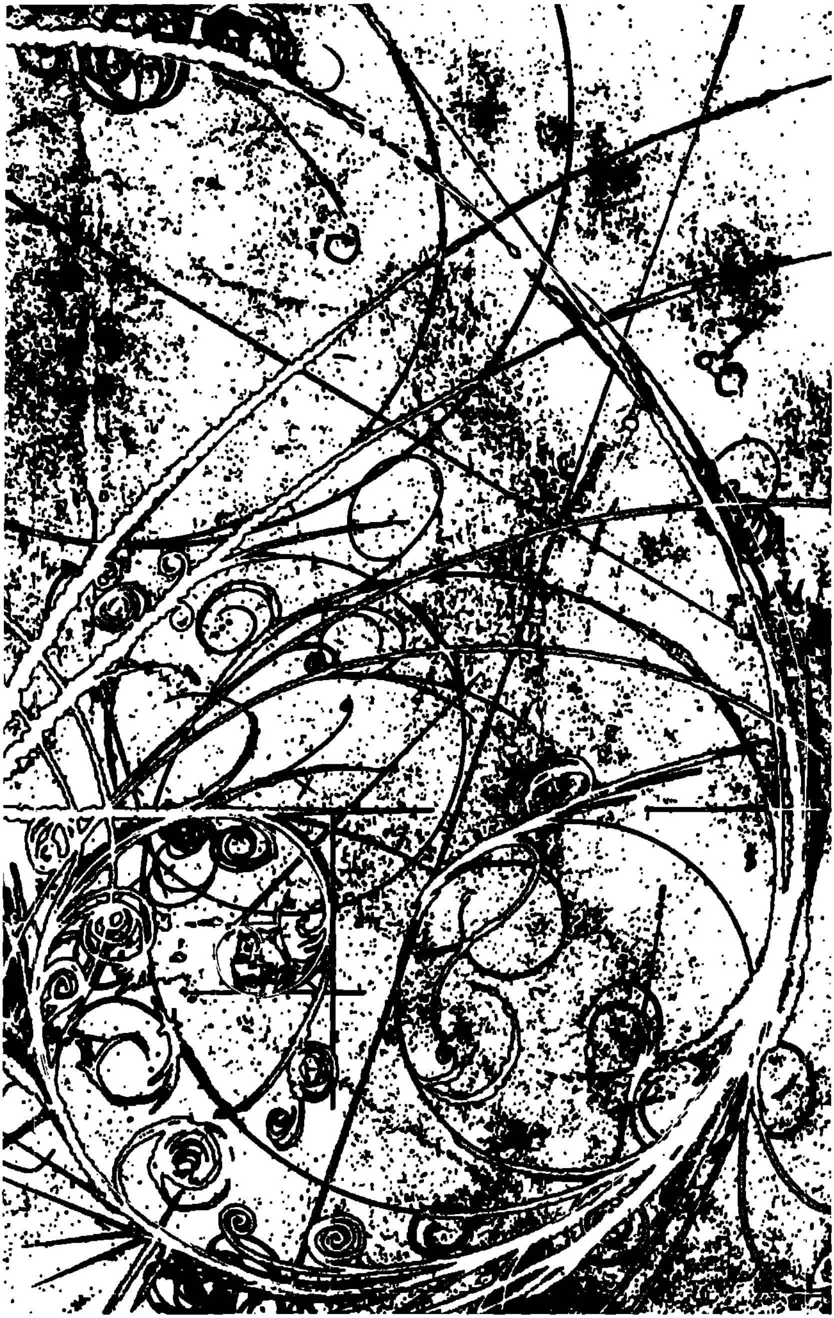




التداخُل: مثل البشر، عندما تتقابل الموجاتُ فإنَّها تميل إمّا لتعزيز أو تقليلِ كل منهما للأخرى

ثنائية كتلك ـ مثل الحالة التي تصف فيها نظريتان مختلفتان تمامًا الظاهرةَ نفسها بدقّة ـ تتّسق مع الواقعية المعتمدة على النموذج. فكلّ نظرية يمكنها أن تصف وتفسِّر خصائص معيّنة، ولا يمكن القول إنَّ أيَّ نظريّة أفضلَ أو أكثرَ واقعية من الأخرى. وبالنظر في القوانين التي تحكم الكون، فما يمكننا قوله: إنه لا يوجد نموذجٍ رياضيٌّ أو نظرية يمكنها أن تصف كلَّ وجهٍ من أوجه الكون. وبدلًا من ذلك، كما أشرت في مُستهَلِّ هذا الفصل، يبدو أنَّ هناك شبكةً من النظريَّات تسمَّى النظرية ـ إم. وكلّ نظرية في شبكة النظرية ـ "إم" تبرع في وصف الظاهرة في نطاقٍ معيّن. وحيثما تتداخل نطاقات النظريَّات المختلفة

◎ ○



الفصل الرابع

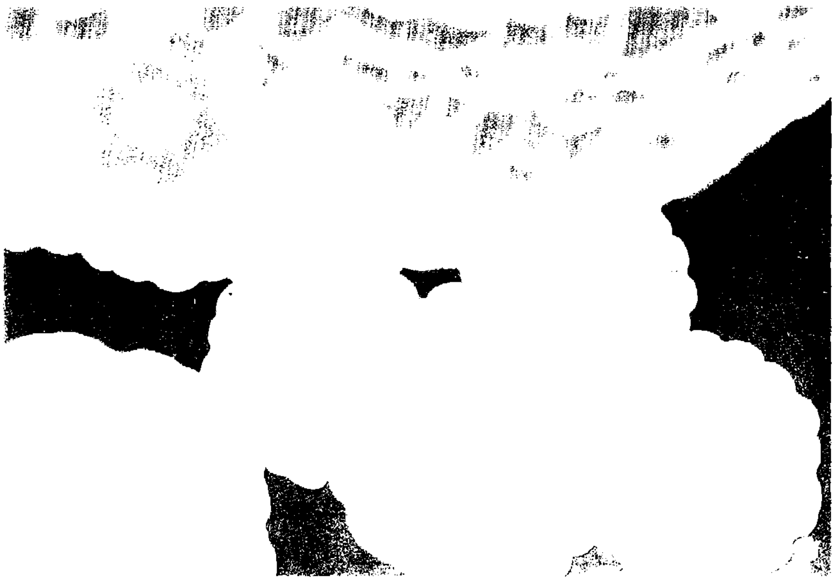
○

تَواريخُ بديلةٌ

في عام 1999 أطلق فريق من الفيزيائيِّين في النمسا سلسلة من الجزيئات التي تشبه كرة القدم باتِّجاه حاجز. كان كلُّ جزيء من تلك الجزيئات مكوّنًا من ستين ذرّة كربون، تسمَّى أحيانًا كرات بكي buckyballs على اسم المعماري بكمينستر فوللر Buckminster Fuller الذي كان يصمّم المباني على هذا الشكل. ربَّما كانت قباب فوللر الجيوديسية(*) geodesic أكبر الأشياء المشابهة لكرة القدم في الوجود، لكنّ كرات بَكي كانت هي الأصغر. كان الحاجز الذي استهدفه العلماء، في الواقع، عبارة عن فتحتين يمكن أن تمرَّ من خلالهما كرات بَكي. وخلف هذا الحائط، قام علماء الفيزياء بوضع ما يشبه الشاشة، لاكتشاف وإحصاء الجزيئات البازغة.

إذا قمنا بإعداد تجربة مشابهة باستخدام كرات قدم حقيقية، فسنحتاج إلى لاعب وشبكة مرمى مهتزّة بعض الشيء على أن تكون لديه قدرة على تصويب الكرات بشكل ثابت وبالسرعة التي نختارها.

(*) في الرياضيات الخط الجيوديسي هو تعميم للخط المستقيم ضمن الفضاءات المنحنية، فكما أن الخط المستقيم هو أقصر خط بين نقطتين في الهندسة الإقليدية.. فإن الجيوديسي هو أقصر خط بين نقطتين في الهندسة الريمانية "الفراغية" ـ المترجم.

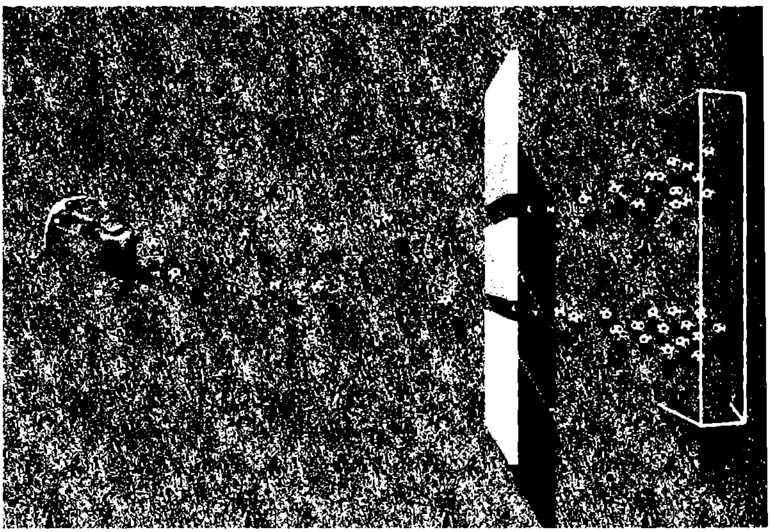


كرات بَكي: تشبه كرات قدم ميكروسكوبية مصنوعة من ذرّات الكربون

سيتوجّب علينا وضع اللاعب أمام حائط به فتحتان. وعلى الجانب البعيد من الحائط ومواز له، سنضع شبكة طويلة جدًّا. سترتطم معظم تصويبات اللاعب بالحائط ثم ترتدُّ عائدة، لكنَّ بعضها سيمرُّ من إحدى الفتحتين إلى شبكة المرمى. إذا كانت الفتحتان أكبر بالكاد من الكرات، فسيبزغ تياران متوازيان من الجهة الأخرى. وإذا كانت الفتحتان أكبر من ذلك، فإنَّ كلَّ تيَّارٍ سينتشر للخارج، كما هو موضّح في الصورة التالية.

لاحظ أنّه إذا أغلقنا فتحة واحدة، فإنّ التيار المناظر لن يستمرَّ في المرور منها، لكن لن يكون لذلك أيّ أثر على التيار الآخر. وإذا أعدنا فتح الفتحة الثانية، فإنَّ ذلك سيزيد فقط من عدد الكرات التي تسقط في أيّة لحظة على الجانب الآخر، وسنحصل بالتالي على كلّ الكرات

التي مُرِّرت من خلال الفتحة التي ظلّت مفتوحة، بالإضافة إلى الكرات الأخرى القادمة من الفتحة التي فُتحت حديثًا. وبكلمات أخرى فإنّ ما نلاحظه عند فتح الفتحتين، هو مُحصِّلة ما نلاحظه مع كلٍّ فتحة في الحائط مفتوحة بشكل منفصل. ذلك هو الواقع الذي نعتاد عليه في حياتنا اليومية. لكنَّ هذا ليس هو ما وجده الباحثون النمساويون عندما أطلقوا جزيئاتهم.

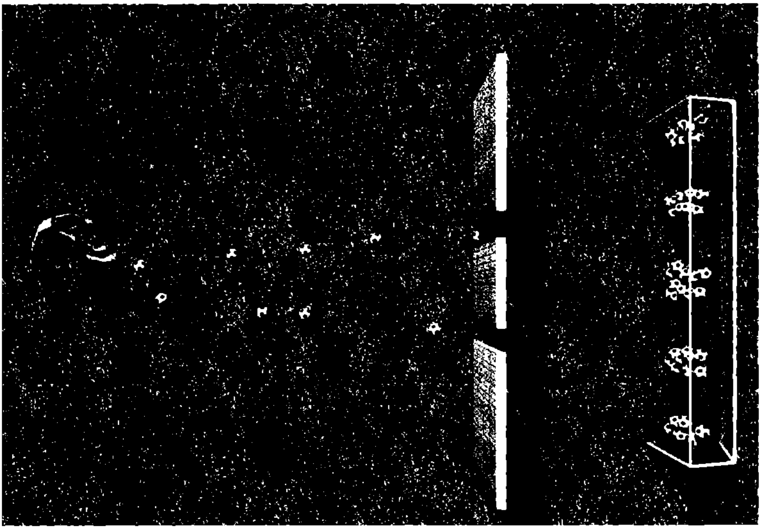


كرَّة القدم والفتحتان(*): لاعب كرة القدم الذي يركل الكرات باتّجاه فتحتين في الحائط سينتج نمطًا واضحًا

في التجربة النمساوية، فإنَّ فتح الفتحة الثانية سيزيد فعليًّا من عدد الجزيئات التي تصل لبعض النقاط على الشاشة ـ لكنَّها ستُقلل العدد في الأخرى، كما في الصورة التالية. في الحقيقة، هناك نقاطٌ لا تسقط عليها كرات بَكي عندما تكون الفتحتان مفتوحتين، لكن فقط تسقط

(*) إحدى التجارب التي أدت إلى النظرية الكمية الفيزيائية.

عليها الكرات عندما تكون إحداهما فقط مفتوحة. يبدو هذا غريبً جدًّا، فكيف يتسبَّبُ فتحُ الفتحة الثانية في تقليل عدد الكرات التي تصل إلى نقاط معيّنة؟



كرات بَكي: عند إطلاق كرات بَكي الجزيئية على فتحتين في الشاشة، فإنَّ النمط الناتج يعكس قوانين الكمّ غيرِ المألوفة

يمكننا الحصول على مفتاح الإجابة عن هذا السؤال من خلال اختبار التفاصيل. ففي التجربة، هناك العديد من كرات بَكي الجزيئي التي ستسقط عند نقطة مُتمركزة في منتصف المسافة التي يتوقّع أن تسقط عليها الكرات لو مرّت من خلال إحدى الفتحتين. وسيصل عدد قليل جدًّا من الجزيئات إلى مسافة أبعد قليلًا من هذا الموضع المركزي، لكن على مسافة أبعد قليلًا من هذا المركز، سنلاحظ وصول الجزيئات مرَّة أخرى. هذا الشكل ليس مُحصِّلة للأشكال المُتكوّنة عند فتح كلِّ فتحة بشكل مستقلّ، لكن يمكن إدراكه كم

في الشكل المُميّز للموجات المتداخلة (الفصل الثالث). فالمناطق التي لا تصلها الجزيئات تناظر المناطق التي تنبعث فيها الموجات من الفتحتين وتصلان بشكلٍ غيرِ متزامنٍ لتولّد التداخل الهدّام. أمَّا المناطقُ التي يصل إليها العديدُ من الجزيئاتِ فإنَّها تناظر المناطق التي تصل إليها الموجات بشكل متزامن لتولّد التداخُل البنّاء.

في أوّل ألفي عام أو نحو ذلك من التفكير العلميِّ، كان الحدس والتجارب العادية هما أســاس التفسير النظريِّ. ومع تحسُّنِ التكنولوجيا واتساع نطاق الظواهر التي يمكننا ملاحظتها، بدأنا نجد أنّ الطبيعة تتصرَّف بطرقٍ أقلَّ وأقلّ تماشيًا مع تجاربنا اليومية وبالتالي مع حدسنا، كما برهنت على ذلك تجربة كرات بَكي. فتلك التجربة تمثِّل بشكلٍ نموذجي نوعًا من الظواهر التي لا يستطيع العلم التقليديّ أن يشملها، لكن يمكن وصفها بما يُسمَّى ميكانيكا الكمّ. وفي الواقع، فقد كتب ريتشارد فاينمان أنَّ تجربة الفتحتين كتلك التي شرحناها سابقًا "تتضمن كلَّ غموضِ ميكانيكا الكمِّ".

لقد تطوَّرت مبادئ ميكانيكا الكمّ في العقود الأولى من القرن العشرين، بعد أن اتَّضح أنَّ نظريةَ نيوتن لا تكفي لوصف الطبيعة على المستوى الذرِّي وما تحت الذرِّي. فالنظريّات الأساسية للفيزياء تقوم بوصف قوى الطبيعة وكيفية تعامل الأشياء معها. والنظريَّات الكلاسيكية مثل نظرية نيوتن قد بُنيت وَفق إطار يعكس خبرات الحياة اليومية. حيث يكون للأشياء المادية وجودٌ فرديٌّ، وتتواجد في أماكن مُحدَّدة، وتتبع مساراتٍ معيّنةً، وهكذا. إن ميكانيكا الكمِّ تمنحنا إطارًا لفهم كيفية عمل الطبيعة على المستوى الذَّرِّي وما تحت الذَّرِّي، لكن وكما سنرى بمزيد من التفصيل فيما بعد، فإنَّها تُملي علينا مُخطَّطًا من

المفاهيم المختلفة كُليًّا، مُخطّطًا يكون فيه موضع الشيء ومسارَه، وحتّى ماضيه ومستقبله غير مُحدَّد بدقّة. ونظريّات الكمِّ لقوى كالجاذبية أو الكهرومغناطيسية تكون مُتضمَّنة داخل هذا الإطار.

هل يمكن للنظريّات المَبنية على مثل هذا الإطار الغريب جدًّا عن الخبرة اليومية، أن تفسِّر أحداث الخبرة الاعتيادية التي صمّمت لها نماذجَ دقيقةً بواسطة الفيزياء التقليدية؟ نعم يمكنها، فبالنسبة لنا ولما يحيط بنا من بنيات معقّدة، فإنّنا مصنوعون من عددٍ كبيرٍ لا يُمكن تخيُّله من الذرَّات، ذرَّات أكثر من النجوم التي توجد في الكَون المرئيِّ. ومع أنَّ الذرَّات المُكوّنة تخضع لمبادئ ميكانيكا الكمِّ، فإنَّ المرءَ يمكنه توضيح أنَّ التجمُّعات الكبيرة التي تُكوِّن كرات القدم، ونبات اللِّفت والطائرات النفَّاثة العملاقة ـ ونحن ـ سيتمّ معالجتها فعليًّا لتجنّب التّشتُّت خلال الفتحتين. لذلك فمع أنَّ مُكوِّناتِ أشياء الحياة اليومية تخضع لميكانيكا الكمِّ، إلّا أنَّ قوانين نيوتن ما زالت تشكِّل نظرية تأثيرات تصف بدقَّة تامّة كيفية تصرف البيانات المُعقَّدة المُكوّنة لعالم حياتنا اليومية.

قد يبدو هذا غريبًا، لكنْ هناك عدّةَ حالاتٍ في العلم يظهر فيها أنَّ التجمُّعات الكبيرة تتصرّف بطريقة تختلف عن تصرُّف مُكوّناتها الفردية. فاستجابات خلية عصبية واحدة من الصعب أن تنمّ عن بقية الخلايا العصبية الموجودة داخل الدماغ البشري، وما نعرفه عن جزيء الماء لن يخبرنا بكيفية تصرُّف البحيرة. في حالة ميكانيكا الكمّ، لا يزال العلماء يعملون على حساب تفاصيل كيف أنَّ قوانين نيوتن قد انبثقت من ميدان الكمِّ. ما نعرفه أنَّ مُكوّنات كلّ شيء تخضع لقوانين ميكانيكا الكمِّ، وأنَّ قوانين نيوتن هي تقريب جيّد لتفسير الكيفية التي

تتصرَّف بها الأشياء الكبيرة المُركبّة من مُكوِّنات كمومية.

وبالتالي فإنَّ تنبُّؤات نظرية نيوتن تتوافق مع رؤية الواقع التي طوّرناها جميعًا مع خبراتنا عن العالم المحيط بنا. لكنَّ الذرَّاتِ والجزيئات المفردة تعمل بطريقة تختلف تمامًا عن خبرة حياتنا اليومية. فميكانيكا الكمِّ هي نموذج جديد للواقع يعطينا صورة عن العالم. إنَّها صورة لا يصبح فيها للعديد من المفاهيم الأساسية لحدسنا في فهم الواقع أيّ معنى بعد الآن.

إنَّ تجربة الفتحتين قد أُجريت لأوّل مرّة عام 1927 بواسطة الفيزيائييْن كلينتون دافيسون Clinton Davisson وليستر جيرمر Lester Germer في معامل بيل Bell Labs، حيث كانا يدرسان الكيفية التي تتفاعل بها حزمة إلكترونات ـ أشياء أبسط بكثير من كرات بَكي ـ مع بلّورة مصنوعة من النيكل. وكانت حقيقة أنَّ جسيماتِ المادّة كالإلكترونات تتصرَّف كأمواج الماء، من التجارب المروعة التي ألهمت فيزياء الكمّ. ولأنَّ هذا السلوك لا يلاحظ على مستوى العين المُجرَّدة، فإنَّ العلماء قد تعجّبوا طويلًا من كيفية أنَّ شيئًا كبيرًا ومُركَّبًا يمكنه أن يُظهر خصائص شبه موجية، ستسبب إثارة كبيرة لو كان من الممكن توضيح هذا التأثير باستخدام البشر أو أفراس النهر، وعمومًا فكما قلنا، كلَّما كبر الشيء، كلما قلَّ ظهور التأثيرات الكمومية وصارت أكثر قوة. لذلك فمن المُستبَعد أن تنتقل أيَّة حيوانات من حديقة الحيوان إلى الحالة شبه الموجية خلال قضبان الأقفاص. ولا يزال الفيزيائيُّون التجريبيّون يلاحظون ظاهرة الموجة مع الجسيمات كبيرة الحجم. ويأمل العلماء في مضاعفة تجربة كرات بَكي باستخدام الفيروسات، والتي لا تعتبر أكبر كثيرًا وحسب، لكن يعتبرها البعض كائنات حية.

ويتطلب الأمر بعض ملامح فيزياء الكمّ لفهم الحجج التي سنقدِّمها في الفصول الأخيرة من هذا الكتاب، وأحد هذه الملامح الرئيسة هي ثنائية الجسيم/ الموجة. إنّ تصرّف جسيمات المادّة مثل تصرف الموجة قد أدهش كلّ واحد. لكنّ تصرّف الضوء كموجة لم يعد يدهش أحدًا. فالسلوك شبه الموجيّ للضوء يبدو طبيعيًا لنا وقد اعتبر كحقيقة مقبولة لحوالَي قرنين. وإذا سلطت شعاع من الضوء على الفتحتين في التجربة السابقة، فستبزغ موجتان ثم تلتقيان على الشاشة. في بعض النقاط فإنّ قممها أو قيعانها ستتطابقان وتكونان بقعة ساطعة، وفي بعض النقاط الأخرى فإنّ قمم أحد الشعاعين ستتلاقى مع قيعان الشعاع الآخر، وتلغيها تاركة منطقة معتمة. قام الفيزيائيُّ الإنجليزيُّ توماس يونج Thomas Young بإجراء تلك التجربة في أوائل القرن التاسعَ عشرَ، لإقناع الناس بأنّ الضوء عبارة عن موجة ولا يتكوّن من جسيمات كما اعتقد نيوتن.

مع أنّ المرء يمكنه استنتاج أنّ نيوتن كان مخطئًا بقوله إنّ الضوء ليس موجة، إلّا أنّه كان على حقّ عندما قال إنّ الضوء يتصرّف كما لو أنّه مكوّنٌ من جسيمات نسمِّيها اليوم الفوتونات. وتمامًا كما أنّنا نتكوّنُ من عدد كبير من الذرّات، فإنّ الضوء الذي نراه في حياتنا اليومية مكوّنٌ، بمعنى أنّه مصنوعٌ، من عدد ضخم من الفوتونات ـ حتَّى إنّ مصباحًا ليليًّا بقوّة واحد وات ـ يمكنه أن يبعث بمليارات المليارات من الفوتونات كلّ ثانية. لا يظهر الفوتون المفرد عادة، لكن يمكننا أن ننتج في المعمل شعاعًا ضوئيًّا خافتًا جدًّا لدرجة أن يكون مكوّنًا من تيار من تلك الفوتونات المفردة، والتي يمكن أن نستدلَّ عليها بشكل مفرد كما نستدلّ بالضبط على الإلكترونات وكرات بَكي المفردة. ويمكننا تكرار تجربة يونج باستخدام شعاع خافت بما يكفي ليصل

فوتون واحد للحاجز في المرّة الواحدة، ويفصل بينهما ثوانٍ قليلة. إذا قمنا بذلك، وأضفنا كلَّ السجلّات لتأثيرات الفوتونات المفردة على الشاشة في الجانب البعيد من الحاجز، سنجد أنّها ستبني معًا شكل التداخُل نفسه الذي سيتم بناؤه لو أجرينا تجربة دافيسون - جيرمر لكن بإطلاق الإلكترونات (أو كرات بَكي) على الشاشة، واحدة في كلِّ مرَّة. كان هذا مفاجأة مذهلة بالنسبة للفيزيائيين: إذا تداخلت الجسيمات المفردة مع نفسها، فإنَّ طبيعة الضوء الموجية عندئذٍ هي خاصية ليس فقط للشعاع أو لمجموعة كبيرة من الفوتونات، لكنّ للجسيم المفرد.

أحد المعتقدات الرئيسة الأخرى في ميكانيكا الكمّ هو مبدأ الريبة (أو مبدأ اللايقين - Heisenberg uncertainty principle)، الذي صاغه فيرنر هايزنبرج Werner Heisenberg في عام 1926، فمبدأ الريبة يخبرنا بأنَّ هناك حدودًا لقدرتنا على قياس بيانات محدّدة بشكل متزامن، مثل موضع الجسيم وسرعته. فعلى سبيل المثال ووفقًا لمبدأ الريبة، إذا ضربت لايقين موضع جسيم في لايقين كمية حركته(*) (كتلته مضروبة في سرعته) فإنّ الناتج لن يكون أصغر أبدًا من كمية ثابتة معيّنة، وتسمّى هذه الكمية ثابت بلانك(**) Planck's constant. يبدو هذا لعبا بالكلمات، لكن يمكن صياغة جوهره ببساطة كالتالي: كلّما قست السرعة بدقّة، كان قياس الموضع أقلّ دقّة، والعكس بالعكس. فمثلًا،

(*) الصيغة الرياضية لمبدأ الريبة: $\Delta P_x \Delta x \simeq h$

حيث: ΔP_x اللايقين في كمية الحركة.

Δx اللايقين للموضع.

h ثابت بلانك.

(**) ثابت فيزيائي يستخدم لوصف "أصغر مقدار للطاقة"، وله دور رئيسي في ميكانيكا الكم، ويعود اكتشافه إلى العالم الألماني ماكس بلانك عام 1900- المترجم.

إذا كان لديك نصف لايقين عن الموضع، فعليك أن تضاعف اللايقين عن السرعة. ومن المُهمّ أيضًا ملاحظة أنّه، بالمقارنة بوحدات القياس المستخدمة في الحياة اليومية كالأمتار والكيلوجرامات والثواني، فإنّ ثابت بلانك يكون صغيرًا جدًّا. في الواقع، إذ استخدمت تلك الوحدات، فستكون قيمته حوالَي 6 على 10.000.000.000.000.000 .000.000.000.000.000.000



تجربة يونج: كان نمط كرات بَكي مألوفًا من النظرية الموجية للضوء

وكنتيجة لذلك، إذا حدّدت بدقّة موضع شيء يُرى بالعين المجرّدة مثل كرة القدم، مقدار كتلته حوالَي ثلث كيلوجرام ضمن واحد ملليمتر، في أيّ اتِّجاه، فسيظلّ بإمكاننا قياس سرعته بدقّة أكبر بكثير حتَّى من واحد على مليار مليار مليار كيلومتر في الساعة. هذا لأنّه بقياس كرة القدم بتلك الوحدات، حيث كتلتها ثلث كيلوجرام،

سيكون مقدار لايقين الموضع هو 1 على 1000 وهو ما لايكفي لحساب كلّ تلك الأصفار في ثابت بلانك، وسيتحوّل هذا بدوره إلى لايقين في السرعة. لكن بالوحدات نفسها، فإنّ الإلكترون له كتلة 0.0 0000000000000000000000000001 من الكيلوجرام، لذلك بالنسبة للإلكترونات فإنّ الحالة مختلفة تمامًا. فإذا قسنا موضع الإلكترون بدقّة تماثل تقريبًا حجم الذرّة، فإنّ مبدأ الريبة يوجب أنّنا لن نستطيع معرفة سرعة الإلكترون بدقّة أكثر من حوالي زائد أو ناقص 1000 كيلومتر في الثانية، وهي سرعة غير دقيقة على الإطلاق.

وفقًا لفيزياء الكمّ، لا تهمّ كمية المعلومات التي نحصل عليها أو مدى قوّة قدراتنا الحوسبية. فنتائج العمليات الفيزيائية لا يمكن التنبّؤ بها بثقة لأنّها غير محدّدة بيقين. بدلا من ذلك، بفرض الحالة الأولية لنظام، فإنّ الطبيعة تحدد حالتها المستقبلية خلال عملية هي بالأساس غير يقينية. وبكلمات أخرى، فإن الطبيعة لا تملي نتيجة أي عملية أو تجربة، حتّى في أبسط الحالات. وبدلًا من ذلك، فهي تسمح بعدد من الاحتمالات المختلفة، لكلّ منها أرجحية مؤكّدة التحقّق. وكنوع من إعادة صياغة آينشتاين وكما في اقتباسه: "إنّ الله يلقي بالنرد قبل أن يقرّر نتيجة كلّ عملية فيزيائية" تلك الفكرة قد أزعجت آينشتاين، إلى حد أنه بالرغم من كونه أحد أباء فيزياء الكمّ، إلّا أنه أصبح في ما بعد من نقادها.

قد يبدو أنّ فيزياء الكمّ تقوّض فكرة أنّ الطبيعة محكومة بالقوانين، لكنّ ليس هذا هو الحال. وبدلا من ذلك فإنّها تقودنا لقبول شكل جديد ...

الطبيعة ...

على العلماء قبول النظريَّات التي تتّفق مع التجربة، وليس مع أفكارهم الخاصّة السالفة.



"إذا كان هذا صحيحًا، إذًا فكلّ شيء اعتقدنا أنّه كان موجة هو في الحقيقة جسيم، وكلّ شيء اعتقدنا أنّه جسيم هو في الحقيقة موجة"

ما يطلبه العلم من النظرية هو أن تكون قابلة للاختبار. فإذا كانت الطبيعة الاحتمالية لتنبّؤات فيزياء الكمّ تعني استحالة التأكّد من تلك التنبّؤات، فلن يتمَّ عند ذلك تصنيف نظريَّات الكمّ كنظريَّات صالحة. لكن بالرغم من الطبيعة الاحتمالية لتنبّؤاتها، إلّا أنَّنا مازلنا قادرين على

اختبار نظريَّات الكمّ. على سبيل المثال، يمكننا تكرار التجربة عدّة مرَّات والتأكُّد من أنَّ تكرار النتائج المختلفة يتوافق مع الاحتمالات التي يتمّ التنبّؤ بها، ولنتذكَّر تجربة كرات بَكي. إنَّ فيزياء الكمِّ تخبرنا بأنَّ الشيء لا يوجد في موضع محدّد لأنّه لو حدث ذلك، فإنَّ اللايقين بخصوص كمية حركته سيكون بلانهاية. في الواقع، وطبقًا لفيزياء الكمّ، فإنّ هناك احتمالية لكلِّ جسيم بالتواجد في أيّ مكان في الكون. لذلك إذا كانت فرصة إيجاد إلكترون ما ضمن الجهاز ذي الفتحتين عالية جدًّا، فستكون هناك دائمًا فرصة أنَّه ربَّما يتواجد بدلًا من ذلك في الجانب البعيد من نجمة ألفا القنطور، أو في فطيرة الراعي التي تقدّمها الكافيتريا في محل عملك. وكنتيجة لذلك، إذا ركلت كرة بكي وتركتها تطير في الهواء، فلن يوجد كَمّ من المهارة أو المعرفة التي تسمح لك بالقول مُقدّمًا أين بالضبط ستسقط على الأرض. لكن إذا كرّرت تلك التجربة عدّة مرّات، فإنّ البيانات التي ستحصل عليها ستعكس احتمالية إيجاد الكرة في عدد من المواضع المختلفة، وسيثبت للقائمين بالتجربة أنَّ نتائج تلك التجارب تتوافق مع تنبّؤات النظرية.

من المهم إدراك أنَّ الاحتمالات في فيزياء الكمّ ليست مثل الاحتمالات في فيزياء نيوتن، أو في الحياة اليومية. يمكننا فهم ذلك بمقارنة الأشكال التي يراكمها تيّار مستمرّ من كرات بَكي التي يجري تصويبها على الشاشة، مع شكل الثقوب التي يراكمها اللاعبون الذين يستهدفون عين الثور الموجودة على لوحة سهام التصويب. إذا لم يكن اللاعبون قد استهلكوا كمية كبيرة من البيرة، فإنّ فرص استقرار السهم قرب المركز ستكون أكبر. وكما يحدث مع كرات بَكي، فإنَّ أيّ سهم

يمكن أن يستقرّ في أيّ مكان، وبمرور الوقت سيظهر شكل الثقوب الذي يعكس الاحتمالات الكامنة. في الحياة اليومية ربّما نصف هذا الوضع بقولنا إنّ السهم له احتمالية معينة للاستقرار في بقع مختلفة. لكن إذا قلنا ذلك، وبخلاف حالة كرات بكي، فإن هذا سيكون فقط بسبب معرفتنا بظروف الإطلاق غير الكاملة. وقد نستطيع تحسين وصفنا لو عرفنا بالضبط الطريقة التي أُطلِق بها اللاعب السهم: زاوية الإطلاق والدوران والسرعة... وهكذا. وسيمكننا عندئذٍ من حيث المبدأ أن نتنبأ بمكان استقرار السهم بأكثر دقّة نرغب بها. لذلك فإنّ استعمال الاحتمالية لوصف نتيجة أحداث الحياة اليومية هي انعكاس ليس للطبيعة الداخلية للعملية لكن فقط لجهلنا بأوجه معيّنة منها.

تختلف الاحتمالية في نظريّات الكمّ، فهي تعكس العشوائية الأساسية في الطبيعة. ويتضمّن النموذج الكمّي للطبيعة المبادئ التي تتناقض ليس فقط مع خبرة الحياة اليومية، لكن مع مفهومنا البدهي عن الواقع. وهؤلاء الذين يجدون تلك المبادئ عجيبة أو صعبة التصديق سيكونون في صحبة جيّدة، صحبة مع فيزيائيين عظام مثل آينشتاين وحتّى فاينمان الذي سنقدّم وصفه لنظرية الكمّ بعد قليل. وهو الذي كتب فاينمان ذات مرّة "أعتقد أنّه يمكنني أن أقول باطمئنان بأنّه لا يوجد أحد يفهم ميكانيكا الكمّ". لكنّ ميكانيكا الكمّ تتوافق مع الملاحظات، ولم تسقط قطّ في الاختبار، وقد اختبرت [illegible] [illegible] أكثر [illegible] في العلم.

[illegible]

مشغولًا جدًّا بالسؤال عن كيفية حدوث شكل التداخُل في تجربة الفتحتين. وباستدعاء هذا الشكل الذي نراه عند إطلاق الجزيئات وكلتا الفتحتين مفتوحتان، فإنه ليس مُحصّلة الأشكال التي نجدها عندما نقوم بالتجربة مرَّتين، مرَّة بفتحة واحدة مفتوحة فقط، ومرَّة ثانية والفتحة الثانية مفتوحة فقط. بدلًا من ذلك، عندما تكون الفتحتان مفتوحتين فسنجد سلسلة من النطاقات المضيئة والمعتمة، وتكون المناطق الأخيرة معتمة لكونها لا تستقرُّ فيها أيُّ جسيمات. وهو ما يعني أنّ الجسيمات ترغب في الاستقرار في المنطقة المعتمة إن كانت، لنقل، الفتحة رقم واحد مفتوحة، ولن تستقرَّ لو كانت الفتحة رقم اثنين مفتوحة. ويبدو أن الأمر، كما لو أنّه في مكان ما خلال رحلتها من المصدر إلى الشاشة، فإنَّ الجسيمات تكتسب معلومات عن كلتا الفتحتين. هذا النوع من التصرّف يختلف تمامًا عمَّا يبدو عليه تصرّف الأشياء في الحياة اليومية، التي ستتبع فيه الكرة مسارًا خلال إحدى الفتحتين ولن تتأثّر بحالة الفتحة الأخرى.

حسب فيزياء نيوتن ـ وحسب الطريقة التي ستعمل بها التجربة لو أجريناها بكرات القدم بدلًا من الجزيئات ـ فإنَّ كلَّ جسيم سيتبع مسارًا محدّدًا تمامًا من المصدر إلى الشاشة. ولا يوجد متَّسع في تلك الصورة للالتفاف لكي يقوم الجسيم بالمرور من الفتحة المجاورة في طريقه. مع ذلك وحسب النموذج الكمّيّ، يقال إنّ الجسيم ليس لديه موضع محدّد خلال الوقت الذي يقطعه من نقطة البداية إلى نقطة النهاية. لقد أدرك فاينمان أنّه لا يمكن ترجمة ذلك بما يفيد أنَّ الجسيم لا يتَّخذ مسارًا أثناء انتقاله من المصدر إلى الشاشة. لكن يجب أن يعني بدلًا من ذلك أنَّ الجسيم يتّخذ كلّ مسار محتمل واصل بين

هاتين النقطتين. وهذا الذي أكّده فاينمان هو ما يجعل فيزياء الكمِّ مختلفة عن فيزياء نيوتن. فالحالة عند الفتحتين مسألة مهمّة، لأنّه بدلًا من اتّباع مسار واحد مُعيّن، فإنَّ الجسيمات تتبع كلَّ مسار ممكن بشكل متزامن! قد يبدو هذا خيالًا علميًّا، لكنّه ليس كذلك. وقد صاغ فاينمان تعبيرًا رياضيًّا هو ـ محصّلة كلّ التواريخ sum over histories ـ الذي يعكس فكرته، كما أعاد صياغة كلّ قوانين فيزياء الكمّ. ففي نظرية فاينمان فإنَّ الرياضيات والصورة الفيزيائية مختلفتان عن تلك التي كانت في الصيغة الأولية لفيزياء الكمّ، لكنَّ التنبّؤاتِ كانت هي نفسها.

كانت أفكار فاينمان في تجربة الفتحتين تعني أنّ الجسيمات تتّخذ المسارات التي تمر فقط من خلال فتحة واحدة أو من خلال الأخرى. فالمسارت التي تتّخذ طريقها خلال الفتحة الأولى، تعود خلال الفتحة الثانية، ومن ثم خلال الفتحة الأولى، والمسارات التي تزور المطعم الذي يُقدّم الجمبري بالكاري الرائع، ثم تدور حول كوكب المشتري مرّات قليلة قبل الانطلاق تعود إلى الوطن، فحتَّى المسارات التي تذهب عبر الكون تعود. وهذا يشرح، وفقًا لرؤية فاينمان، كيف يكتسب الجسيم معلوماته عن الفتحة المفتوحة ـ إن كانت هناك فتحة مفتوحة ليتخذ الجسيم مساره خلالها. وعندما تكون كلتا الفتحتين مفتوحتين، فإنَّ المسارات التي تتّخذها الجسيمات من خلال فتحة واحدة يمكن أن تتداخل مع المسارات التي تتّخذها من خلال الأخرى، مسبّبة التداخل. قد يبدو هذا غريب الأطوار، لكنَّ لغرض معظم الفيزياء الأساسية اليوم ـ ولغرض هذا الكتاب ـ فقد ثبت أنَّ صيغة فاينمان أكثر فائدة من الصيغة الأولية.



سارات الجسيمات: تعطينا صيغة فاينمان لنظرية الكمِّ صورة عن لماذا جسيمات ثل كرات بَكي والإلكترونات تكوّن أنماطًا من التداخل عند تصويبها خلال فتحات ي الشاشة

كانت رؤية فاينمان عن الواقع الكمِّي حاسمة لفهم النظريَّات التي سنقدِّمُها بعد قليل، ولذلك فهي تستحقُّ بعض الوقت لفهم الإطار لعامِّ لكيفية عملها. تخيّل أن عملية بسيطة يبدأ فيها جسيم من الموقع أ) ويتحرَّك بحرِّية. في نموذج نيوتن فإنَّ هذا الجسيم سيتبع خطًّا ستقيمًا، وبعد مرور زمن مُحدّد تمامًا، سنجد أنَّ الجسيم موجود ي الموضع المُحدّد (ب) على طول هذا الخطِّ. وفي نموذج فاينمان إنَّ الجسيم الكمّي سيختبر كلّ مسار واصل بين (أ) و (ب) ويجمع ءددًا يُسمَّى الطور phase لكلِّ مسار. ويمثّل الطور موضعًا على دورة لموجة، أي سواء كانت الموجة في القمّة أو في القاع أو في بعض

المواضع المُحدّدة بينهما. إنَّ وصفة فاينمان الرياضية لحساب هذا الطور قد أوضحت أنَّك عندما تجمع موجات كلّ المسارات سويًا فستحصل على "نطاق احتمالية" أنَّ الجسيم الذي يبدأ من (أ) سيصل (ب). ومربع نطاق الاحتمالية هذا سيعطي عندئذٍ الأرجحية الصحيحة لوصول الجسيم من (أ) إلى (ب).

الطور الذي يسهم به كلٌّ مسار مفرد في محصّلة فاينمان (وبالتالي احتمالية الذهاب من (أ) إلى (ب)، يمكن رؤيته كسهم له طول ثابت لكن يمكن توجيهه في أيِّ اتِّجاه. ولإضافة طورين مًعًا، قم بوضع السهم الممثّل لأحد الطورين في نهاية السهم الذي يمثّل الطور الآخر، حتَّى يتمَّ الحصول على سهم جديد يمثّل المحصّلة. ولكي تضيف مزيدًا من الأطوار، استمرَّ في تلك العملية ببساطة. لاحظ أنَّه عندما تنتظم الأطوار في صفٍّ واحد، فإنَّ السهم الممثّل للمحصّلة الإجمالية سيكون كبيرًا جدًّا. لكن إذا كانت الأطوار تشير لاتِّجاهات مختلفة، فإنِّها ستنحو باتِّجاه الإلغاء عند إضافتها معًا، مخلِّفة عددًا قليلًا من السهام تقريبًا. وهذه الفكرة موضحة في الصورة التالية.

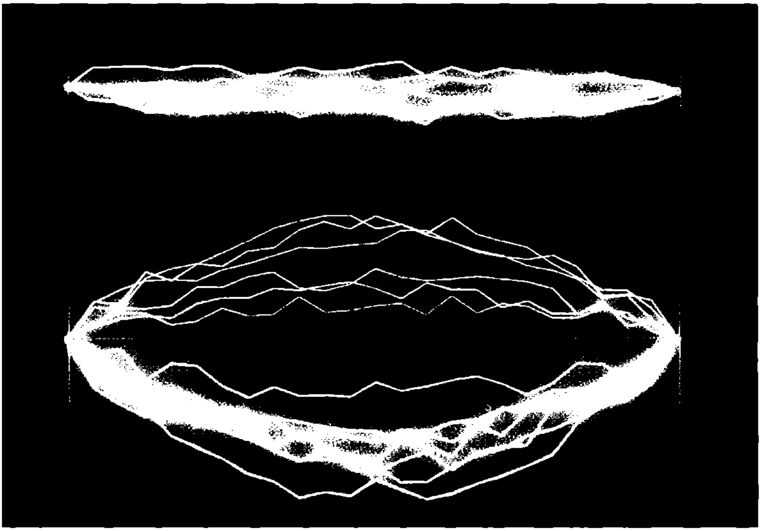
للقيام بوصفة فاينمان لحساب نطاق احتمالية أنَّ الجسيم الذي يبدأ من الموضع (أ) سينتهي في الموضع (ب)، عليك إضافة الأطوار أو الأسهم المصاحبة لكلِّ مسار يصل بين (أ) و (ب). وهناك عدد لانهائي من المسارات التي تجعل الرياضيات معقّدة قليلًا، لكنَّها تعمل. وبعض هذه المسارات مُوضّحة في الصورة التالية.

تعطي نظرية فاينمان صورة خاصّة واضحة عن كيف أنَّ صورة عالم نيوتن يمكن أن تنشأ من ميكانيكا الكمّ التي تبدو مختلفة جدًّا. فطبقًا لنظرية فاينمان، فإنَّ الأطوار المصاحبة لكلّ مسار تتوقّف على ثابت

إضافة مسارات فاينمان: التأثيرات الناتجة عن مسارات فاينمان المختلفة يمكن تعزيز أو تقليل بعضها بعضًا كما تفعل الموجات. في أعلى الرسم التوضيحي فإنّ السهام الصفراء تمثّل الأطوار التي يجب إضافتها. والخط الأزرق يمثّل مجموعها، الخط من ذيل السهم الأوّل إلى رأس السهم الأخير. في الصورة السفلية فإنّ السهام تشير لاتجاهات مختلفة وبالتالي مجموعهم، الخط الأزرق ..إنه قصير جدًّا

بلانك. وتقرّر النظرية أنَّه بسبب أنَّ ثابت بلانك صغير جدًّا، فإنّه عند إضافة مساهمة المسارات القريبة بعضها من بعض، فإنَّ الأطوار عادةً ما تتفاوت بشدّة، وبالتالي كما في الصورة السابقة، فإنَّها تميل للإضافة إلى الصفر. لكن النظرية تبيّن أيضًا أنَّ هناك مسارات معيّنةً يكون لأطوارها ميلًا للاصطفاف، وبالتالي يتمّ تفضيل تلك المسارات، ما يعني أنَّها تقوم بمساهمة أكبر لسلوك الجسيم الذي تتمّ ملاحظته. ليتحوَّل الأمر في حالة الأجسام الكبيرة، أن تتشابه المسارات تمامًا

مع المسار الذي تنبَّأ به نيوتن، ويكون لها أطوار مشابهة تُضاف لتعطي لحدٍّ بعيدٍ المساهمة الكُبرى في المُحصّلة، وبالتالي فإنَّ المآل الوحيد ذا الاحتمالية الكُبرى من الصفر بشكل فعّال هو المآل الذي تنبّأت به نظرية نيوتن، وأنَّ هذا المآل تكون احتماليته أقربَ جدًّا من الواحد الصحيح. وبالتالي فإنَّ الأشياء الضخمة تتحرَّك تمامًا بالطريقة التي تنبَّأت بها نظرية نيوتن.



المسارات من (أ) إلى (ب): المسار الكلاسيكي بين نقطتين هو خطٌّ مستقيمٌ. أطوار المسارات الأقرب من المسار الكلاسيكي تميل لأن يُقوّيَ بعضُها بعضًا، بينما المسارت الأبعد تميل لأن يُلغي بعضُها بعضا

لقد ناقشنا حتَّى الآن أفكار فاينمان في إطار تجربة الفتحتين. ففي تلك التجربة يتمُّ إطلاق الجسيمات باتِّجاه حائط به فتحتان، ويتمُّ قياس الموضع على شاشة موجودة خلف الحائط، تنتهي عندها الجسيمات وبشكلٍ أكثر عمومية، بدلًا من جسيم مفرد فقط، فإنَّ نظرية فاينمان

تتيح لنا بالتنبُّؤ بالنتائج المحتملة "للنظام"، والذي قد يكون جسيمًا أو مجموعة جسيمات أو حتَّى الكون كلّه. وبين الحالة الابتدائية للنظام وبين قياساتنا الأخيرة لخصائصه، تتطوّر تلك الصفات بطريقة ما، والتي يُسمّيها الفيزيائيّون تاريخ النظام. في تجربة الفتحتين على سبيل المثال، فإنَّ تاريخ الجسيم ببساطة هو مسار هذا الجسيم. وكما في تجربة الفتحتين، فإنَّ فرصة ملاحظة الجسيم وهو يستقرُّ عند أيِّ نقطة محددة ستتوقّف على كلّ المسارات التي يمكن أن تحدث هناك، وقد أوضح فاينمان أنَّه، بالنسبة لنظام عام، فإنَّ احتمالية أيّ ملاحظة ستنشأ من كافّة التواريخ الممكنة التي يمكن أن تقود لتلك الملاحظة. ولهذا السبب، فإنَّ طريقته تسمَّى صيغة "محصلة كلّ التواريخ" أو "التواريخ البديلة" لفيزياء الكمّ.

لقد تلمّسنا مقاربة فاينمان لفيزياء الكمِّ، وجاء وقت اختبار مبدأ كمّيٍّ أساسيٍّ آخر والذي سنستخدمه فيما بعد وهو مبدأ أنَّ ملاحظة النظام لا بدّ وأن تغيّر من مساره. ألا يمكننا ذلك، كما نفعل عندما تكون هناك بقعة من الخردل على ذقن المشرفة علينا، فنرقب بحذر ولا نتدخّل؟ الإجابة هي لا. فحسب فيزياء الكمّ، أنت لا يمكنك مراقبة الشيء "وحسب". بما يعني أنَّ فيزياء الكمِّ تحدِّد أنَّه لكي تقوم بالملاحظة، فيجب عليك أن تتفاعل مع الشيء الذي تلاحظه. على سبيل المثال، لرؤية شيء وفقًا للحسّ التقليدي علينا تسليط الضوء عليه. إنَّ تسليط الضوء على ثمرة قرع العسل سيكون له بالطبع تأثير ضئيل عليه. لكنَّ تسليط ضوء حتَّى ولو كان خافتًا على جسيم كمّي دقيق ـ كقذف فوتونات عليه مثلًا ـ سيكون له تأثيرٌ يمكن تقديره، وقد بيّنت التجارب أنَّ ذلك يغيّر النتائج بطريقة وصف فيزياء الكمّ نفسها بالضبط.

باستعمال ضوء خافت جدًّا لأنّه ليست كلّ الجسيمات تتفاعل مع الضوء. وفي تلك الحالة، سيكون بمقدورنا الحصول على معلومات "أيّ مسار" فقط لبعض المجموعات الفرعية للجسيمات. عندئذٍ لو قسّمنا البيانات الخاصّة بوصول الجسيم بحسب حصولنا على معلومات "أيّ مسار" أم لا، سنجد أنّ البيانات التي تخصّ المجموعة الفرعية والتي لم نحصل على معلومات "أيّ مسار" عنها سوف تكوّن شكل تداخل، والمجموعة الفرعية للبيانات التي تخصُّ الجسيمات التي حصلنا على معلومات "أيّ مسار" عنها لن تظهر التداخل.

إنَّ لهذه الفكرة مضمونًا مُهمًّا يخصُّ فهمَنا للماضي. ففي نظرية نيوتن، يعزى وجود الماضي إلى سلسلة محدّدة من الأحداث. فإذا رأيت المزهرية التي اشتريتها من إيطاليا العام الماضي ملقاة ومحطّمة على الأرض، وطفلك الصغير يقف ناظرًا بخجل وارتباك، سيمكنك تتبُّع الأحداث التي أدَّت إلى هذا الحادث المؤسف بأثر رجعيّ. فقد تكون الأصابع الصغيرة قد عبثت بها، وسقطت المزهرية وتشظَّت لألف قطعة عند ارتطامها. في الواقع، بإعطاء بيانات كاملة عن الحاضر، فإنَّ قوانين نيوتن تُمكِّن المرء من رسم صورة كاملة للماضي. وهذا يتَّسق مع فهمنا البدهي بأنَّ العالم له ماضٍ مُحدّد، سواء كان ذلك محزنًا أو مبهجًا. ربَّما لم يكن هناك أحد ليراقب، لكنَّ الماضيَ موجود كما لو أنَّك أخذت له سلسلة من اللقطات السريعة. لكن لا يمكن قول إنَّ كرة بَكي الكمّومية قد اتّخذت مسارًا مُعيّنًا من المصدر إلى الشاشة. قد يمكننا تثبيت موضع كرة بَكي بملاحظتها، لكنَّها قد تتّخذ كلّ المسارات أثناء ملاحظتنا لها. وتخبرنا فيزياء الكمّ أنَّه لا يهمُّ كيف تكون ملاحظتنا للحاضر شاملة، فالماضي (غير الملاحظ)،

افترض أنَّنا كما فعلنا من قبل، قد أرسلنا تيارًا من الجسيمات باتِّجاه الحاجز في تجربة الفتحتين وجمعنا البيانات عن أول مليون جسيم مرُّوا من خلاله. عند وضع خريطة بيانية لعدد الجسيمات التي استقرّت عند مختلف النقاط المبيّنة فإنَّ البياناتِ سوف تُكَوّن صورة لشكل تداخل، وعندما نضيف الأطوار المصاحبة لكلّ المسارات الممكنة من نقطة انطلاق الجسيم (أ) إلى نقطة اكتشافه (ب)، سنجد أنَّ الاحتمالية التي نقوم بحسابها لاستقرار الجسيم عند النقاط المختلفة تتّفق مع تلك البيانات.

افترض الآن أنّنا قد كرّرنا التجربة، وفي هذه المرّة قمنا بتسليط الضوء على الفتحتين وبالتالي فنحن نعرف النقطة الوسيطة (ج)، التي يمرُّ الجسيم من خلالها. ـ (ج) هي موضع أيّ من الفتحتين ـ وهو ما يُسمّى معلومات "أيّ مسار" لأنّها تخبرنا إذا كان كلُّ جسيم قد ذهب من (أ) إلى الفتحة 1 ثم إلى (ب)، أو من (أ) إلى الفتحة 2 ثم إلى (ب). ولأنّنا نعرف الآن من أيِّ فتحة قد مرَّ الجسيم، فإنَّ المسارات في محصِّلتنا لهذا الجسيم سوف تشمل الآن المسارات التي مرّت خلال الفتحة 1 فقط، أو التي مرّت خلال الفتحة 2 فقط. وهي لن تشمل أبدًا كلا المسارين من خلال الفتحة 1 ومن خلال الفتحة 2. ولأنّ فاينمان قد فسّر شكل التداخل بقوله إنَّ المسارات التي تمرّ من خلال فتحة واحدة تتداخل مع المسارات التي تمرُّ من خلال الفتحة الأخرى، وإذا أشعلتَ الضوءَ لتحديد أيّة فتحةٍ مرَّ منها الجسيم، فإنَّك بالتالي ستحذفُ الخيار الآخر، وستجعل شكل التداخُل يختفي. وفي الواقع، عند إجراء التجربة، فإنَّ إشعال الضوء يغيّر نتيجة شكل التداخل، إلى شكل مماثل! والأكثر من هذا، أنَّه يمكننا إجراء تعديل في التجربة

مثل المستقبل، غير مُحدّدين ويوجدان فقط كطيفٍ من الاحتمالات. والكون وفقًا لفيزياء الكمّ، ليس له ماضٍ أو تاريخٌ واحد.

إنَّ حقيقة أنَّ الماضي لا يتّخذ شكلًا مُحدّدًا تعني أنّ الملاحظات التي تقوم بها على النظام في الحاضر تؤثّر على ماضيه. وهو ما تمَّ تأكيدُه لحدٍّ كبير بالأحرى من خلال تجربة فكَّر فيها الفيزيائيُّ جون ويلر John Wheeler تُسمَّى تجربة الاختيار ـ المتأخِّر. وبشكل تخطيطيٍّ، فإنَّ تجربة الاختيار ـ المتأخِّر تشبه تجربة الفتحتين التي شرحناها سابقًا، والتي يكون لديك فيها حرّية اختيار ملاحظة المسار الذي يأخذه الجسيم، إلّا أنّه في تجربة الاختيار ـ المتأخِّر فإنّك سترجئ قرارك سواء بملاحظة المسار أو عدم ملاحظته إلى ما قبل اصطدام الجسيم بالشاشة بالضبط.

إن تجارب الاختيار ـ المُتأخّر تنتج بيانات مماثلة لتلك التي نحصل عليها عند اختيار أن نلاحظ (أو لا نلاحظ) المعلومات عن أيِّ مسار بمشاهدة الفتحات ذاتها. لكن في تلك الحالة فإنَّ المسار الذي يتّخذه كلُّ جسيم، بما يعني ماضيه، سيتحدّد بعد مروره بفترة من الفتحات، ويحتمل أن يكون قد "قرّر" إذا ما كان سيعبر من فتحة واحدة وحسب، حيث لن ينتج تداخلًا، أو من كلتا الفتحتين حيث ينتج تداخلًا.

حتَّى إنَّ ويلر قد وضع في اعتباره نسخة كونية للتجربة، تكون فيها الجسيمات المستخدمة فوتونات تنبعث من أشباه نجوم قوّية على بعد مليارات السنوات الضوئية. قد ينقسم مثل هذا الضوء إلى مسارين ثم يُعاد تركيزه نحو الأرض بعدسات جاذبية من المجرَّات البينية. ومع أنَّ تلك التجربة أبعد من التكنولوجيا الحالية، فإنَّنا لو استطعنا تجميع فوتونات كافية من هذا الضوء، فلا بدّ من أنّها ستُكوِّن شكل تداخل.

إلّا أنّنا لو وضعنا أداة لقياس معلومات أيّ مسار بفترة وجيزة قبل الاستكشاف، فإنَّ شكل هذا التداخل سيختفي. واختيار اتخاذ أيّ من المسارين في هذه الحالة سيكون قد تمّ اتخاذه منذ مليارات السنين، قبل تكوين الأرض أو ربّما حتَّى قبل تكوين الشمس، وحتَّى الآن فإنّنا ومن خلال ملاحظاتنا في المعمل سوف نؤثّر في هذا الاختيار.

لقد أوضحنا في هذا الفصل فيزياء الكمّ باستخدام تجربة الفتحتين. وفيما يلي سنطبِّق صيغة فاينمان لميكانيكا الكمِّ على الكون ككلٍّ. وسوف نرى أنَّ الكون، مثل الجسيم، ليس لديه تاريخٌ واحدٌ بل كلُّ تاريخ ممكن، ولكلٍّ منه احتماليته الذاتية، وتؤثّر ملاحظاتنا لوضعه الحالّي في ماضيه كما تحدّد التواريخ المختلفة للكون، تمامًا مثلما تؤثّر ملاحظة الجسيمات في تجربة الفتحتين على ماضي تلك الجسيمات. وهذا التحليل يوضح كيف أنَّ قوانين الطبيعة في كوننا قد نشأت من الانفجار الكبير. لكن قبل أن نختبر كيف نشأت القوانين، سنتكلّم قليلًا عن تلك القوانين، ما هي؟ وما الألغاز التي تثيرها؟

الفصل الخامس

نظريةُ كلِّ شيء

"الشيءُ الأكثرُ غموضًا في هذا الكونِ، هو أنَّه قابل للفهم" .

(ألبرت آينشتاين)

يمكن فَهمُ الكون؛ لأنَّه محكومٌ بقوانينَ علميَّةٍ، هذا هو ما يجب قوله، إنَّه يمكن عملُ نموذج لسلوكه. لكن ماهي تلك القوانين وما هي هذه النماذج؟ كانت الجاذبية أوّلَ قوّةٍ يتمَّ وصفُها بلغة الرياضيات. فقوانين نيوتن عن الجاذبية التي ظهرت عام 1687، أفادت بأنَّ كلَّ شيءٍ في الكون يجذب أيَّ شيءٍ آخرَ بقوّةٍ تتناسب مع حجمه. وكان لتلك القوانين بصمةٌ كبيرةٌ على الحياة الفكرية في عصرها؛ لأنَّها بيّنت لأوّل مرّة أنَّ هناك على الأقلِّ وجهًا واحدًا للكون يمكن عمل نموذجٍ دقيق له، كما رسخت الآلية الرياضية للقيام بذلك. وكانت الفكرة أنَّ هناك قوانينَ للطبيعة تطرح للمناقشة مسائلَ مشابهةً لتلك التي أُدين بسببها جاليليو بتهمة الهرطقة قبل خمسين عامًا. فعلى سبيل المثال، يخبرنا الكتاب المُقدَّس بقصّة صلاة يشوع Joshua للشمس والقمر لكي يتوقّفا في مساريهما ليكون لديه بالتالي مزيد من ضوء النهار لإنهاء

قتال العموريين في أرض كنعان. ووفقًا لكتاب يشوع، تم تجميد وضع الشمس لمدّة يوم، ونحن اليوم نعرف أنَّ هذا يعني توقّف الأرض عن الدوران. وإذا توقّفت الأرض بحسب قوانين نيوتن فإنَّ كلَّ شيء غير مربوط بالأرض سيظلّ مُتحرّكًا بسرعة الأرض الأصلية (1100 ميل في الساعة عند خط الاستواء) وهو ثمنٌ باهظٌ يمكن تقديمه لتأخير غروب الشمس. لم يزعج شيء من هذا نيوتن نفسه كما ننزعج منه اليوم، فقد كان نيوتن يعتقد أنَّ الله يمكنه التدخّل في أعمال الكون.

كانت أوجه الكون التالية التي اكتشفت بسببها القوانين والنماذج هي القوى الكهربائية والقوى المغناطيسية. فهي تتصرّف كالجاذبية، مع فارق مهمّ هو أن الشحنتين الكهربائيتين أو المغناطيسين من النوع نفسه يتنافر كلّ منهما مع الآخر، بينما الشحنات الكهربائية المختلفة أو المغناطيسين المختلفين يتجاذبان. والقوى الكهربائية والمغناطيسية أقوى بكثير من الجاذبية، لكنّنا لانلاحظها عادة في حياتنا اليومية لأنَّ الأجسام الكبيرة تحتوي غالبًا على أعداد متساوية من الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة. وهذا يعني أنّ القوى المغناطيسية والكهربائية بين جسمين كبيرين ستلغي كلّ منهما الأخرى تقريبًا، على خلاف قوى الجاذبية التي تضاف جميعها بعضًا إلى بعض.

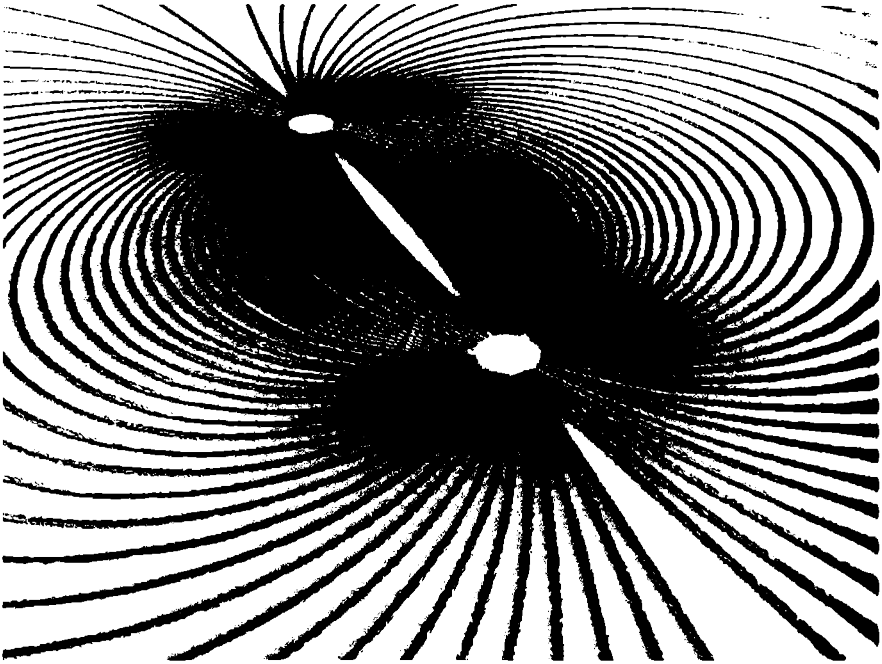
لقد تطوّرت فكرتنا الحالية عن الكهرباء والمغناطيس طيلة فترة تبلغ حوالَي مئة عام، من منتصف القرن التاسعَ عشرَ إلى منتصف القرن العشرين، عندما قام الفيزيائيون من عدّة دول بإجراء دراسات تجريبية تفصيلية للقوى الكهربائية والمغناطيسية. وكان أحد أكثر الاكتشافات أهمية هو الترابط بين القوى الكهربائية والمغناطيسية: فالشحنة الكهربائية المتحرّكة تولّد قوّة على المغناطيس، والمغناطيس

المُتحرّك يولد قوّة على الشحنات الكهربائية. وكان أوّل من أدرك أنَّ هناك ارتباطًا هو الفيزيائيُّ الدنماركيُّ هانز كريستيان أورستد Hans Christian Orsted. فعند إعداده لمحاضرة كان سيلقيها في الجامعة في عام 1820، لاحظ أورستد أنَّ التيار الكهربائي الصادر من البطارية التي كان يستخدمها قد عكس تقريبًا إبرة البوصلة القريبة من البطارية. وسريعًا ما أدرك أنَّ التيار الكهربائي المُتحرّك قد ولّد قوّة مغناطيسية، فقام بصكّ مصطلح الكهرومغناطيسية electromagnetism. بعد ذلك بسنوات قليلة قام العالم البريطاني مايكل فاراداي Michael Faraday بتفسير ذلك، بمصطلحات حديثة، فإذا كان يمكن للتيار الكهربائي أن يولد مجالًا مغناطيسيًا، فإنَّ المجال المغناطيسي لا بُدَّ وأن يكون قادرًا على إنتاج تيار كهربائي، وقد أوضح هذا التأثير في عام 1831. بعد ذلك بأربعةَ عشرَ عامًا، اكتشف فاراداي أيضًا ارتباطًا بين الكهرومغناطيسية والضوء، عندما بين أنَّ المغناطيس الشديد يمكن أن يُؤثّر على طبيعة الضوء المستقطب.

لقد نال فاراداي قسطًا ضئيلًا من التعليم الرسمي، حيث وُلد في عائلة لحدَّاد فقير بالقرب من لندن وترك المدرسة في سنِّ الثالثةَ عشرةَ ليعملَ كساعٍ لتوصيل الطلبات ثم عمل مُجَلِّدًا للكتب في محلٍّ للكتب، وهناك على مدار السنين، تعلّم من قراءة الكتب التي كان عليه الاعتناء بها، وكان يُجري بعض التجارب البسيطة والرخيصة في أوقات فراغه. حتّى حصل في نهاية المطاف على وظيفة كمساعدٍ في معمل الكيميائي العظيم السير هامفري دافي Sir Humphry Davy. لقد استمرَّ فاراداي في هذه الوظيفة للخمس والأربعين سنة التالية من حياته، وبعد موت دافي قام بخلافته. كان لدى فاراداي مشكلةٌ مع

الرياضيات، لأنّه لم يتعلّم الكثير منها أبدًا، وبالتالي كان أمرًا شاقًّا عليه أن يتخيَّل تصوُّرًا لنظرية الظاهرة المغناطيسية الكهربائية العجيبة التي لاحظها في مَعمله. إلَّا أنّه فعل ذلك.

كانت أحد أعظم ابتكارات فاراداي الذهنية هي فكرة مجالات القوّة. ونحن نشكر في هذه الأيّام الكتب والأفلام التي تقدّم لنا سفنًا وكائناتٍ فضائية بعيون خنافس حيث يألف غالبية الناس هذا المصطلح، ممّا يؤهِّل فاراداي للحصول على حقوق التأليف. لكن خلال القرون التي مرَّت من نيوتن إلى فاراداي كان أحد أكبر ألغاز الفيزياء، هو ما بدا من أنَّ القوانين كانت تشير لعمل القوى خلال الفضاء الفارغ الذي يفصل الأشياء المتفاعلة. لم يكن فاراداي يحبُّ ذلك، واعتقد أنّه لكي تحرِّك شيئًا، فلا بُدَّ من وجود شيء يتّصل به. وبالتالي تخيّل المساحة بين الشحنات الكهربائية والمغناطيس كأنَّها مملوءة بأنابيب غير مرئية هي التي تقوم بعمليات الشدِّ والجذب المادية، وقد أطلق فاراداي على تلك الأنابيب اسم مجال القوّة. وأفضل طريقة لرؤية مجال القوّة هو إجراء توضيح في معمل المدرسة حيث يتمُّ وضع قرص زجاجي فوق قضيب مغناطيسي ثم تنثر برادة الحديد فوق القرص الزجاجي. وبطرقات خفيفة لتفادي الاحتكاك، ستتحرَّك البرادة كما لو أنَّها مدفوعة بقوّة غير مرئية لترتّب نفسها على شكل أقواس مشدودة من أحد قطبي المغناطيس إلى القطب الآخر. هذا الشكل هو بمثابة خريطة لقوّة المغناطيس غير المرئية التي تخترق الفضاء. ونحن اليوم نعتقدُ أنَّ كلَّ القوى تنتقل في مجالات، لذلك فهو مفهوم مُهمٌّ في الفيزياء المعاصرة ـ كما في روايات الخيال العلمي.



مجالات القوّة: مجال قوّة قضيب مغناطيسي، كما يوضّحه تفاعل برادة الحديد

ظلَّ فهمُنا للكهرومغناطيسية مُتوقّفًا لعدَّة عقود، ولم يزد عن معرفة القليل من القوانين التطبيقية: في إشارة إلى أنَّ الكهرباء والمغناطيسية كانتا وثيقتي الصلة بشكل غامض، وأنَّ لهما صلةً من نوعٍ ما بالضوء، ومفهوم المجالات الوليد. لقد وجدت على الأقلِّ إحدى عشرة نظرية للكهرومغناطيسية، كان لكلّ واحدة منها عيب. ثم بعد ذلك بعدّة سنوات، وفي سبعينيات القرن التاسع عشر، قام الفيزيائي البريطاني جيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell، بتطوير فكرة فاراداي لإطار رياضي يوضح العلاقة الحميمة والغامضة بين الكهرباء والمغناطيسية والضوء. كانت النتيجة مجموعة من المعادلات التي

تصف كلًّا من القوى الكهربائية والقوى المغناطيسية كمظاهر للكينونة الفيزيائية نفسها، التي هي المجال الكهرومغناطيسي. قام ماكسويل بتوحيد الكهرباء والمغناطيسية في قوّة واحدة. والأكثر من هذا، أنّه أوضح أنَّ المجالاتِ الكهرومغناطيسيةَ يمكنها الانتشار على شكل موجات خلال الفضاء. كانت سرعة هذه الموجات محكومة برقم يظهر في معادلاته، وقد قام بحسابه من البيانات التجريبية التي تمَّ قياسها قبل ذلك بسنوات قليلة. وممَّا أثار دهشته أنَّ السرعة التي قام بقياسها كانت تساوي سرعة الضوء، والتي كانت معروفة من التجارب وقتها بدقَّة واحد في المئة. لقد اكتشف أنَّ الضوء نفسه هو موجة كهرومغناطيسية!

واليوم فإنَّ المعادلات التي تصف المجالَين: الكهربائي والمغناطيسي تُسمَّى بمعادلات ماكسويل. لقد سمع بها عدد قليل من الناس، لكنَّها قد تكون من أكثر المعادلات التجارية التي نعرفها أهمِّية. فهي لا تحكم فقط عمل كلّ شيء من التطبيقات المنزلية إلى الكمبيوترات، بل تصف الضوء وكذلك الموجات مثل الموجات الكهرومغناطيسية القصيرة microwaves وموجات الراديو والإضاءة تحت الحمراء والأشعة السينية x-rays. وكلّ تلك الموجات تختلف عن الضوء المرئيِّ في ناحية واحدة فقط وهي أطوالها الموجية. فأطوال موجات الراديو تبلغ مترًا أو أكثر، بينما الضوء المرئيُّ يبلغ طوله عشرات قليلة من مليون جزء من المتر، والأشعة السينية يبلغ طولها أقصر من مائة جزء من مليون جزء من المتر. إنَّ شمسنا تشعُّ بكلّ الأطوال الموجية، لكنَّ إشعاعها يكون أقوى في الأطوال الموجية المرئية لنا. وقد لا تكون مصادفةً أنَّ الأطوال الموجية التي

ستطيع رؤيتها بالعين المجرّدة هي تلك التي تشعُّ بها الشمس الضوء
نوة: كما لو أنَّ عيونَنا قد تطوّرت بالقدرة على استشعار الإشعاع
كهرومغناطيسي بدقة ضمن هذا النطاق، لأنَّ هذا هو النطاق الأكثر
فرةً بها. فإذا التقينا بكائنات من كواكب أخرى، من المحتمل أنَّه
يكون لديها قدرة على "رؤية" الإشعاعات بأيّة أطوال موجية تشعّها
مسهم بقوَّة بعد تعديلها بعوامل كتلك التي تعوق خصائص الضوء
ثل الغبار والغازات الموجودة في غلاف كوكبهم. لذلك، فإنَّ
كائنات الفضائية التي تطوَّرت في وجود الأشعّة السينية قد تحصل
لى وظيفة جيّدة في أمن المطارات.

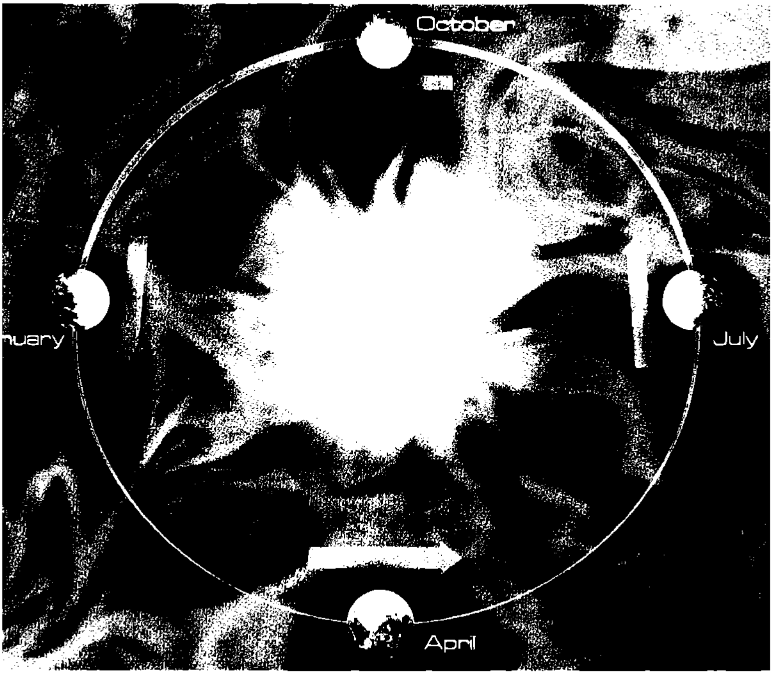
لقد أوجبت معادلات ماكسويل أن تسافر الموجات الكهرومغناطيسية بما يقرب من سرعة 300.000 كيلومتر في الثانية، أي حوالَي 670 مليون ميل في الساعة. لكنَّ إعطاء معلومة دقيقة عن السرعة لن يكون له معنى ما لم نقم بتحديد الإطار المرجعيِّ الذي تُقاس بالنسبة له هذه السرعة. وهو شيء لا نحتاج للتفكير فيه في الحياة اليومية. فعندما يصل مؤشّر السرعة إلى 60 ميلاً في الساعة، ستفهم من ذلك أن سرعتك تقاس بالنسبة للطريق وليس بالنسبة للثقب الأسود في مركز مجرّة درب التبانة Milky Way. لكن حتّى في الحياة اليومية هناك أحوال ينبغي عليك فيها أن تضع في حسابك الأُطر المرجعية. على سبيل المثال، إذا كنت تحمل فنجان شاي في طائرة نفاثة أثناء رحلة جوية، فقد ترى أن سرعتك هي ميلان في الساعة. مع أنَّ شخصًا ما على الأرض، قد يقول إنّك تتحرّك بسرعة 572 ميلاً في الساعة. وخشية من اعتقاد أنَّ أحدَ هؤلاء الملاحظين لديه ادِّعاء أفضل بالحقيقة، ضع في اعتبارك أنَّه بسبب دوران الأرض حول الشمس، فإنَّ شخصًا ما يراقبك من على سطح جسم سماوي قد لا يتّفق مع كليكما وسيقول إنَّك تتحرَّك بسرعة 18 ميل في الثانية، دون الإشارة إلى أنَّه يحسدك على الجوِّ المُكيف على متن الطائرة. في ظل هذه الاختلافات، عندما زعم ماكسويل أنَّه قد اكتشف "سرعة الضوء" التي قفزت منها معادلاته، طرح السؤال الطبيعيّ، ما الذي قيست بالنسبة له سرعة الضوء في معادلات ماكسويل؟

لا يوجد سبب للاعتقاد بأنَّ معيار السرعة في معادلات ماكسويل هو السرعة التي قيست بالنسبة للأرض. فمعادلاته بعد كلِّ شيء، تنطبق على مجمل الكون. والإجابة البديلة التي تمَّ تبنِّيها لفترة، أن

تلك المعادلات تحدّد سرعة الضوء بالنسبة للوسط غير المكتشف سابقًا والذي يتخلَّل كلَّ الفضاء، وكان يُسمَّى الأثير المضيء، أو لفترة قصيرة الأثير، وهو مصطلح أطلقه أرسطو على المادّة التي كان يعتقد أنَّها تملأ كلَّ الكون خارج الكرة الأرضية. هذا الأثير المزعوم قد يكون الوسط الذي تنتشر خلاله الموجات الكهرومغناطيسية، تمامًا كما ينتشر الصوت خلال الهواء. وإذا كان الأثير موجودًا، فسيكون هناك معيار مطلق للسكون (يعني، السكون فيما يتعلّق بالأثير) ومن ثم طريقة مطلقة لتعريف الحركة بالتالي. وعلى الأثير أن يوفّر إطارًا مرجعيًّا ممتازًا ضمن كلِّ الكون، ويمكن قياس سرعة أي شيء في مقابله. لذلك فقد افْتُرِضَ وجود الأثير من الناحية النظرية، ممَّا دفع بعض العلماء للبحث عن طريقة لدراسته، أو على الأقلِّ لإثبات وجوده، وكان ماكسويل نفسه هو أحد هؤلاء العلماء.

إذا انطلقت خلال الهواء باتِّجاه موجة صوتية، فإنَّ الموجة ستقترب منك بسرعة أكبر، وإذا انطلقت مبتعدًا عنها ستقترب منك بسرعة أبطأ. وبالمثل، إذا كان ثمَّة أثير، فإنَّ سرعة الضوء ستختلف بناء على الحركة بالنسبة للأثير. في الواقع، إذا كان الضوء يعمل بنفس الطريقة التي يعمل بها الصوت، فبالضبط كما لن يسمع الناس على طائرة نفَّاثة تطير بأسرع من سرعة الصوت أيّ صوت يصدر من خلف الطائرة، كذلك أيضًا فالمسافرون المنطلقون بسرعة كافية خلال الأثير سيكونون قادرين على تخطّي موجة الضوء. ولحلِّ المسألة انطلاقًا من مثل هذه الاعتبارات، اقترح ماكسويل إجراء تجربة. فإذا كان يوجد الأثير، فلا بدَّ أن تتحرَّك الأرض خلاله وهي تدور حول الشمس. ولأنَّ الأرض تتحرَّك باتِّجاه يختلف في يناير عنه في أبريل أو يوليو،

فسيكون بمقدور المرء ملاحظة الاختلاف الطفيف في سرعة الضوء في الأوقات المختلفة من العامِ ـ انظر الصورة التالية.



الحركة خلال الأثير: إذا كنّا نتحرّك خلال الأثير، فسنكون قادرين على كشف تلك الحركة بملاحظة الاختلافات الموسمية في سرعة الضوء

قام ماكسويل بتسوية مشكلة نشر فكرته في محاضر الجمعية الملكية بواسطة محرِّر الجمعية، الذي لم يكن يعتقد أنَّ التجربة ستعمل. لكن في عام 1879، قبل وفاته بفترة قصيرة بسرطان المعدة المؤلم وهو في عمر الثامنة والأربعين، أرسل ماكسويل خطابًا عن هذا الموضوع إلى صديقه. ونشر هذا الخطاب اليتيم في جريدة الطبيعة، حيث قرأه، ضمن عديدين، الفيزيائي الأمريكي ألبرت ميكلسون -Al

bert Michelson. وبإلهام من تأمّلات ماكسويل، قام ميكلسون وإدوارد مورلي Edward Morley في عام 1887 بإجراء تجربة حساسة صُمّمت لقياس السرعة التي تتحرّك بها الأرض خلال الأثير. كانت فكرتهما هي المقارنة بين سرعة الضوء في اتِّجاهين مختلفين ومتعامدين. إذا كانت سرعة الضوء رقمًا ثابتًا بالنسبة للأثير، فيجب أن تكشف القياسات سرعات الضوء التي تختلف وفقًا لاتِّجاه الأشعة. لكن ميكلسون ومورلي لم يلاحظا مثل هذا الاختلاف.

كانت نتيجة تجربة ميكلسون ومورلي في تناقض واضح مع نموذج الموجات الكهرومغناطيسية التي تنتقل خلال الأثير، ممَّا حتَّم التخلّي عن نموذج الأثير. كان هدف ميكلسون هو قياس سرعة الأرض بالنسبة للأثير، وليس إثبات أو عدم إثبات فرضية الأثير، وما وجده لم يؤدِّ به لاستخلاص عدم وجود الأثير، وفي الواقع لم يقم أحد آخر بهذا الاستخلاص أيضًا. وفي الحقيقة، قال السير ويليام طومسون (لورد كيلفن) Sir William Thomson (Lord Kelvin) في عام 1884 أنَّ الأثير كان "المادّة الوحيدة التي نثق بها في الديناميكا، وأنَّ الشيء الذي نتأكَّد منه، هو تلك الحقيقة الجوهرية لوجود الأثير المضيء".

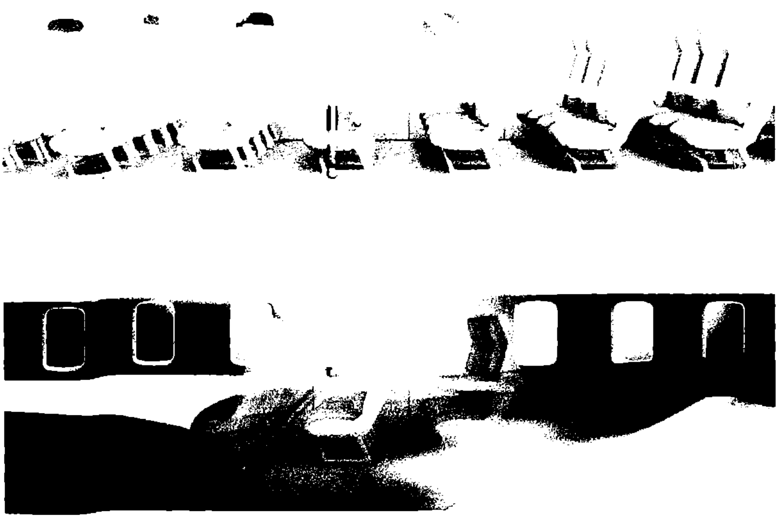
فكيف تصدّق وجود الأثير بالرغم من نتائج تجربة ميكلسون ـ مورلي؟ كما قلنا إنَّه يحدث غالبًا، إذ يحاول الناس الحفاظ على النموذج بالتحايل على الأمر وإضافة بعض التعديلات لهذا الغرض. فافترض بعضهم أنَّ الأرض تسحب الأثير خلفها، وبالتالي فنحن لا نتّحرك فعليًّا بالنسبة له. وقد اقترح الفيزيائي الألماني هيندريك أنتون لورنتز Hen-drik Antoon Lorentz والفيزيائي الأيرلندي جورج فرانسيس فيتزجيرالد George Francis FitzGerald أنَّه في الإطار المرجعي المُتحرّك بالنسبة

للأثير، من المحتمل أن يكون هذا نتيجة لبعض التأثير الميكانيكيِّ غير المعروف بعد، فقد تتباطأ الساعات وتنكمش المسافات، وبالتالي على المرء أن يظلَّ يقيس الضوء لتكون له نفس السرعة. وقد استمرَّت الجهود المبذولة للحفاظ على مفهوم الأثير طيلة عشرين عامًا حتَّى ظهور بحث لافت للنظر من موظَّفٍ صغير مغمور في مكتب براءة الاختراع في بيرن، اسمه ألبرت آينشتاين Albert Einstein.

في عام 1905 كان عمر آينشتاين ستة وعشرين عامًا عندما أصدر بحثه "حول الديناميكا الكهربائية للأجسام المتحرّكة" On the Electrodynamics of Moving Bodies، قدم فيه افتراضًا بسيطًا مفاده أنَّ قوانين الفيزياء وبخاصة سرعة الضوء يجب أن تبدوَ هي ذاتها لجميع الملاحظين المتحرِّكين المتماثلين. وفي النهاية استدعت تلك الفكرة، ثورة على مفهومنا عن المكان والزمان. ولكي نرى لماذا، عليك أن تتخيَّل حدثين يقعان في الموضع نفسه لكن في زمنين مختلفين، على طائرة نفَّاثة مثلًا. فبالنسبة للملاحظ الموجود على الطائرة ستكون المسافة صفرًا بين هذين الحدثين. لكن بالنسبة لملاحظ ثانٍ على الأرض فإنَّ الحدثَين سيكونان منفصلان بالمسافة التي قطعتها الطائرةُ في الزمن الواقع بين وقوع الحدثين. ويوضِّح هذا أنَّ الملاحظين اللذين يتحرَّك أحدهما بالنسبة للآخر لن يتَّفقا على طول المسافة بين الحدثين.

افترض الآن أنَّ الملاحظين يلاحظان نبضة ضوئية تنتقل من ذيل الطائرة إلى مُقدِّمتها. فكما في المثال السابق، لن يتَّفقا على طول المسافة التي قطعها الضوء من نقطة إرساله من ذيل الطائرة إلى نقطة استقباله عند مُقدّمتها. ولأنَّ السرعة هي المسافة المقطوعة مقسومة على الزمن المنقضي، فإنَّ هذا يعني أنَّهما إذا اتفقا علي السرعة التي

تنتقل بها النبضة، وهي سرعة الضوء، فإنَّهما لن يتَّفقا على الفترة الزمنية بين الإرسال والاستقبال.

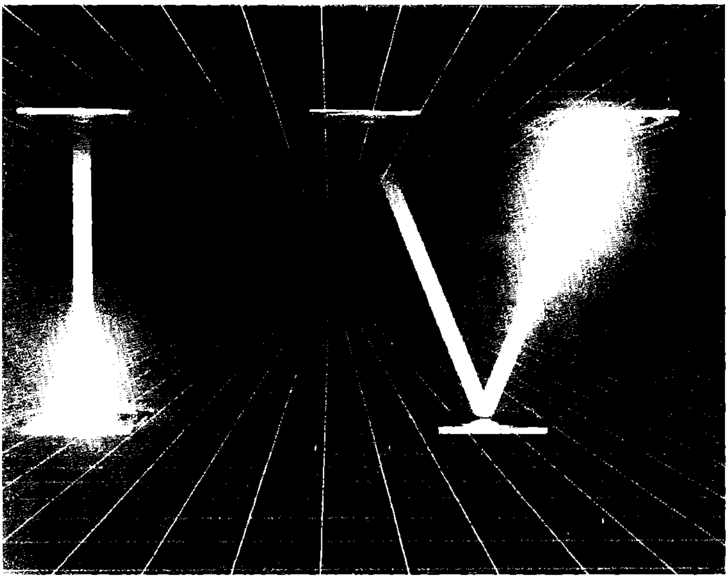


الطائرة النفَّاثة: إذا القيت كرة داخل الطائرة، فإنَّ الملاحظ الموجود على متن الطائرة سيحدد أنَّها ترتطم بنفس النقطة كل مرة، بينما سيقيس الملاحظ على الأرض اختلافًا كبيرًا بين نقاط الارتطام

ما يجعل هذا الأمر غريبًا هو أنَّه، مع أنّ الملاحظين يقيسان في أوقات مختلفة، فإنَّهما يشاهدان العملية الفيزيائية نفسها. لم يحاول آينشتاين أن يبني تفسيرًا اصطناعيًّا لذلك. إلَّا أنَّه قد انتزع الاستخلاص المنطقي والغريب الذي يفيد بأنَّ قياس الوقت المنقضي، يشبه قياس المسافة المقطوعة، فهما يعتمدان على الملاحظ القائم بالقياس. وكان هذا الأثر أحد المفاتيح التي أفضت لنظرية آينشتاين في بحث 1905. والتي ستسمَّى بالنسبية الخاصّة.

يمكننا رؤية كيف ينطبق هذا التحليل على الساعات لو وضعنا في

اعتبارنا ملاحظين ينظران إلى ساعة. تفيد النسبية الخاصّة بأنَّ الـ
ستدور أسرع حسب الملاحظ الساكن بالنسبة للساعة، أمّا الملا
غير الساكن بالنسبة للساعة، فإنّ الساعة ستدور ببطء. فإذا ربطنا الـ
الضوئية المنتقلة من ذيل الطائرة إلى مُقدِّمتها بتكّة الساعة، فسنر
الملاحظ على الأرض سيرى أنَّ الساعة تدور أبطأ؛ لأنَّ شعاع الـ
عليه الانتقال لمسافة أكبرَ في هذا الإطار المرجعي. وهذا التأثي
يعتمد على آلية عمل الساعة، فهو ينطبق على كلِّ الساعات، بما
ساعاتنا البيولوجية الذاتية.



تباطؤ الزمن: سيبدو أنَّ الساعات المتحرِّكة تدورُ ببطء، ولأنَّ هذا ينطبقُ أيضًا
ساعاتنا البيولوجية، فسيبدو أنَّ الناس المُتحرِّكين ستشيَّخون ببطء أكثرَ، لكن لا
سقف آمالك؛ فعندَ سرعات الحياة اليومية، لا يمكنُ للساعة العادية أن تقيسَ هذا الـ

لقد أوضحت أعمال آينشتاين، أنه كما في مفهوم السكون فإنَّ الو
لا يمكن أن يكون مطلقًا، كما كان يعتقد نيوتن. وبكلماتٍ أخرى،

من الممكن أن نعزوَ لكلِّ حدثٍ الزمن الذي سيتَّفق عليه كلُّ الملاحظين. وبدلا من ذلك، سيكون لكلِّ الملاحظين قياساتهم الذاتية للزمن، ولن يتفق الزمن المُقاس من قبل ملاحظَيْن يتحرَّك أحدهما نحو الآخر. إنّ فكرة آينشتاين تذهب ضدّ حدسنا لأنَّ تطبيقاتها غير ملحوظة عند السرعات التي نواجهها في حياتنا اليومية، لكنَّها قد تأكَّدت مرارًا بالتجربة. على سبيل المثال، تخيّل ساعة مرجعية ساكنة في مركز الأرض، وساعة أخرى على سطح الأرض، وساعة أخرى على متن طائرة تطير إمَّا في اتّجاه دوران الأرض أو عكس اتِّجاهه. فمن مرجعية الساعة الموجودة في مركز الأرض، ستتحرك الساعة الموجودة على متن الطائرة المتحركة شرقًا، باتِّجاه دوران الأرض، أسرع من الساعة الموجودة على سطح الأرض، وبالتالي فإنَّها ستدور بشكل أبطأ. وبالمثل، بمرجعية الساعة الموجودة في مركز الأرض، فإنَّ الساعة الموجودة على متن طائرة تطير غربًا، عكس دوران الأرض، ستتحرّك أبطأ من الساعة الموجودة على سطح الأرض، وهو ما يعني أنَّ الساعة يجب أن تدور أسرع من الساعة الموجودة على سطح الأرض. وهذا بالضبط ما تمَّ ملاحظته عندما أُجريت تجربة في أكتوبر من عام 1971، حيث طارت ساعة ذرّية دقيقة جدًّا حول الأرض. هكذا، يمكنك أن تطيل عمرك بالطيران شرقًا حول الأرض، مع أنَّك ستتعب من مراقبة حركة كلِّ خطوط الطيران. إلَّا أنّ تأثير ذلك سيكون ضئيلًا جدًّا، حوالَي 180 جزء من مليون جزء من الثانية لكلّ دورة حول الأرض (مع أنَّه بشكل ما سيقلُّ بتأثيرات اختلاف الجاذبية، لكنَّنا لسنا بحاجة للدخول في هذا الموضوع هنا).

ونتيجة لأعمال آينشتاين، فقد أدرك الفيزيائيُّون أنَّ الأمر يتطلَّب أن تكون سرعة الضوء هي نفسها في كافّة الأُطر المرجعية، كما تحتّم

نظرية ماكسويل عن الكهربية والمغناطيسية أنَّه لا يمكن معالجة ال
بشكل منفصل عن أبعاد الفضاء الثلاثة. وبدلًا من ذلك، فإنَّ ال
والمكان مجدولان معًا. إنَّه شيء يشبه إضافة اتِّجاه رابع: المستق
الماضي، للاتِّجاهات المعتادة يسار/ يمين وأمام/ خلف وأعل
أسفل. ويسمّي الفيزيائيّون هذا التزاوج بين الزمن والمكان "الزمكا
space-time. ولأنَّ الزمكان يشمل اتِّجاها رابعًا، فقد سموه بالبعد الرا
وفي الزمكان لم يعد الزمن مفصولًا عن المكان ثلاثي الأبعاد، وبكا
غير دقيق، فكما تعتمد تعريفات يمين/ يسار أو أمام/ خلف أو أعلى
أسفل على وجهة الملاحظ، فكذلك أيضًا سيتفاوت اتِّجاه الزمن ب
على سرعة الملاحظ. فالملاحظون الذين يتحرَّكون بسرعات مختل
سيختارون اتِّجاهات مختلفة للزمن في الزمكان. ولذلك كانت نظر
آينشتاين عن النسبية الخاصّة نموذجًا جديدًا، يتخلَّص من مفاه
الزمن المطلق والسكون المطلق (أي السكون بالنسبة للأثير الثابت).

لقد أدرك آينشتاين على الفور ضرورة وجود تعديل آخر لكي تتواف
الجاذبية مع النسبية. فوفقًا لنظرية نيوتن عن الجاذبية، فإنَّ الأجسام
ينجذب بعضها إلى بعض في أيِّ زمن بقوّة تعتمد على المسافة بينهما
في هذا الزمن. كانت نظَّرية النسبية قد أبطلت مفهوم الزمن المطلق
لذلك لم تكن هناك طريقة لتعريف متى يجب قياس المسافة بين كتلتين
وهكذا لم تكن نظرية الجاذبية لنيوتن متوافقة مع النسبية الخاصة وكان
يجب تعديلها. قد يظهر هذا الخلاف كصعوبة تقنية وحسب، حتى أنه قد
يكون تفصيلة يمكن التغلُّب عليها بشكل ما دون تغيير كبير في النظرية
وفي النهاية لا شيء يمكن أن يظلَّ بعيدًا عن الحقيقة.

لقد طور آينشتاين على مدى الإحدى عشرة سنة التالية نظرية
جديدة للجاذبية، وسمَّاها النسبية العامّة. لم يكن مفهوم الجاذبية في

النسبيّة العامَّة يشبه شيئًا ممَّا قاله نيوتن. وبدلًا من ذلك، فإنَّه بني على الفرض الثوري بأنَّ الزمكان ليس مسطَّحًا كما كان يُفترض سابقًا، لكنّه كان منحنيًا ومشوَّهًا بواسطة الكتلة والطاقة الموجودتين بداخله.

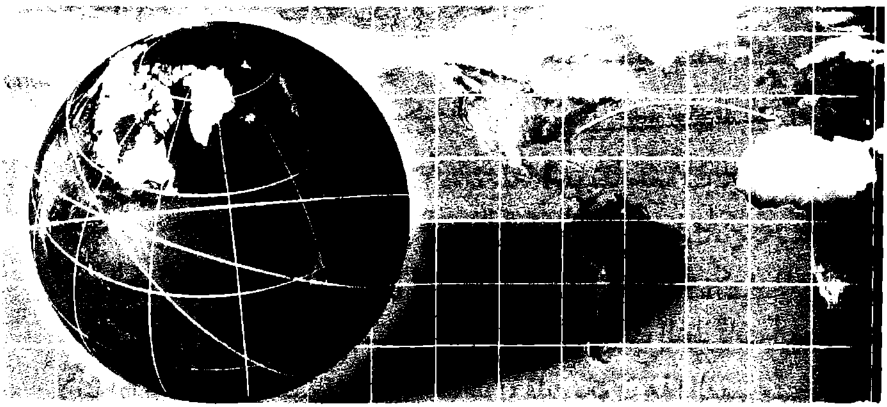
كانت أفضل طريقة لتصوير الانحناء هي التفكير في سطح الأرض. فبالرغم من أنَّ سطح الأرض ثنائي الأبعاد وحسب (لأنَّ هناك فقط اتِّجاهين على امتداده، فلنقل شمال/ جنوب وشرق/ غرب) فسنستخدمه كمثال لنا لأنَّ الفضاء المنحني ثنائي الأبعاد أسهل في تصويره من الفضاء المنحني رباعي الأبعاد. إن الهندسة الخاصة بانحناء الفضاءات المقوّسة كسطح الأرض ليست كتلك المألوفة بالنسبة للهندسة الإقليدية. فعلى سطح الأرض مثلًا، تكون أقصر مسافة بين نقطتين ـ والتي تعرف بالخطِّ في الهندسة الإقليدية هي المسار الواصل بين نقطتين على طول ما نسمِّيه الدائرة الكبيرة. (الدائرة العظمى هي دائرة بامتداد سطح الأرض ويكون مركزها متطابقًا مع مركز الأرض. وخطّ الاستواء هو مثال للدائرة العظمى، وهكذا يمكننا الحصول على أيِّ دائرة بتحريك خطِّ الاستواء على أنصاف أقطار مختلفة).

تخيَّل أنَّك أردت السفر، فلنقل من نيويورك إلى مدريد، وهما مدينتان على نفس خطِّ العرض تقريبًا. إذا كانت الأرض مُسطّحة، فإنَّ أقصرَ طريق سيكون هو التوجّه شرقًا في خطٍّ مستقيم. إذا قمت بذلك، فسوف تصل مدريدَ بعد قطع 3707 أميال. لكن بسبب تقوّس سطح الأرض، فإنَّ هناك مسارًا سيبدو منحنيًا على الخريطة المسطحة وبالتالي سيكون أطول، ولكنَّه أقصر فعليًا. يمكنك الوصول إلى هناك بقطع 3605 أميال إذا اتبعت طريق الدائرة الكبرى، حيث تتوجّه أوّلًا باتّجاه الشمال الشرقي، ثم تدريجيًا إلى الشرق، ومن ثم إلى الجنوب

الشرقي. إنَّ الفرق في المسافة بين الطريقين هو بسبب تقوّس سطح الأرض، وعلامة على هندستها غير الإقليدية. وتعرف خطوط الطيران ذلك، فتحثّ طيَّاريها على اتّباع طريق الدائرة الكبرى عندما يكون ذلك عمليًّا.

حسب قوانين الحركة لنيوتن، ستتحرك أشياء مثل قذائف المدفع وفطائر الكرواسون والكواكب في خطوط مستقيمة إذا لم تؤثّر عليها قوّة كالجاذبية. لكنَّ الجاذبية، في نظرية آينشتاين، ليست قوّة كالقوى الأخرى، وبدلًا من ذلك وكنتيجة لحقيقة تشويه الكتلة للزمكان، فإنَّها ستتسبَّب في انحنائه. إنَّ الخطوط هي إحداثيّات سطح مستوٍ، والدوائر العظمى هي إحداثيّات على سطح الأرض. وفي غياب المادّة، فإنَّ الإحداثيّات في الزمكان رباعي الأبعاد تماثل الخطوط في الفضاء ثلاثي الأبعاد. لكن الزمكان يتشوه في وجود المادّة، وتنحني مسارات الأجسام المماثلة في الفضاء ثلاثي الأبعاد بالطريقة التي تمَّ شرحُها في نظرية نيوتن بواسطة شدّ قُوى الجاذبية. وعندما لا يكون الزمكان مسطّحًا، ستبدو مسارات الأجسام كأنَّها مثنية، بما يعطي انطباعًا بأنَّ هناك قوّةً تعمل عليها.

لقد أعادت نظرية النسبية العامَّة لـ آينشتاين إنتاج النسبية الخاصّة في غياب الجاذبية، وقدّمت تقريبًا التنبُّؤات نفسها التي قدَّمتها نظرية نيوتن عن الجاذبية في بيئة الجاذبية الضعيفة في نظامنا الشمسي ـ لكن ليس بشكل تامٍّ. في الواقع، إذا لم تؤخذ النسبية العامَّة بعين الاعتبار في أنظمة التتبُّع بالأقمار الصناعية GPS، فسوف تتراكم الأخطاء في المواقع العالمية بمعدل حوالَي عشرة كيلومترات كلَّ يوم! ومع ذلك، فإنَّ الأهميّةَ الحقيقيّةَ للنسبية العامّة ليست في تطبيقات الأجهزة التي



الجيوديسيات: أقصر مسافة بين نقطتين على سطح الأرض تظهر مقوّسةً عند رسمها على خريطة مستوية ـ وهو شيء يجب وضعه في اعتبارك عند خضوعك لاختبار الاتزان (عدم السكر) أثناء القيادة

ترشدك إلى المطاعم الجديدة، لكنَّها بدلًا من ذلك عبارة عن نموذج مختلف جدًّا للكون، وتتنبّأ بالتأثُّرات الجديدة مثل موجات الجاذبية والثقوب السوداء. لذلك، فإنَّ النسبية العامَّة قد حوَّلت الفيزياء إلى هندسة، والتقنية الحديثة حسَّاسة بما يكفي للسماح لنا بإجراء العديد من الاختبارات الدقيقة للنسبية العامّة، وهي قد اجتازت كلَّ اختبار من تلك الاختبارات.

مع أنَّهما قد قامتا بتثوير الفيزياء، إلَّا أنَّ كلًّا من نظرية ماكسويل عن الكهرومغناطيسية ونظرية آينشتاين عن الجاذبية وهي النسبية العامّة، يعتبران كفيزياء نيوتن، من النظريَّات الكلاسيكية. وذلك لأنَّهما، نموذجان يجب أن يكون للكون فيهما تاريخٌ واحدٌ. وكما رأينا في الفصل الأخير، عند المستويات الذرِّية وما تحت الذرِّية فإنَّ تلك النماذج لا تتوافق مع الملاحظات. وينبغي علينا بدلًا من ذلك أن نستخدم نظريَّات الكمّ التي يكون فيها للكون أيُّ تواريخ

محتملة، ويكون لكلٍّ منها قوّتُه ونطاق احتماليّته الخاصّ. ومن أجل الحسابات العملية التي تشمل عالم الحياة اليومية، يمكننا الاستمرار في استخدام النظريَّات الكلاسيكية، لكن إذا أردنا فهم سلوك الذرَّات والجزيئات، فسنحتاج إلى نسخة كمّومية من نظرية ماكسويل عن الكهرومغناطيسية، وإذا أردنا أن نفهم الكونَ المبكّر، عندما كانت كلّ مادّة الكون وطاقته مضغوطتين في حجم صغير، لا بُدَّ أن يكون لدينا نسخة كمّومية من نظرية النسبية العامَّة. سنحتاج لتلك النظريَّات أيضًا لأنَّنا إذا أردنا فهم الطبيعة بشكل أساسي، فلن يكون هذا الفهم متَّسقًا إن كانت بعض القوانين كمّوميةً وبعضها كلاسيكيًّا. لذلك يجب علينا العثورُ على نسخ كمّومية لكلِّ قوانين الطبيعة. وتُسمَّى مثل تلك النظريَّات بنظريَّات المجال الكمومي.

يمكن تقسيم قُوى الطبيعة المعروفة إلى أربعة أنواع:

1 ـ الجاذبية: أضعفُ القُوى الأربعة، لكنَّها قوّةٌ ذاتُ مدًى طويل وتعمل على كلِّ شيء في الكون كقوّة جذب. وهذا يعني أنَّه بالنسبة للأجسام الكبيرة، فإنَّ قُوى الجاذبية يمكن أن يُضافَ بعضها إلى بعضٍ وتتغلَّب على كلِّ القُوى الأخرى.

2 ـ الكهرومغناطيسية: أيضًا قوّةٌ ذاتُ مدًى طويل وأقوى كثيرًا من الجاذبية، لكنَّها تعمل فقط على الجسيمات المشحونة كهربائيًّا، وتكون متنافرة بين الشحنات المتشابهة ومتجاذبة بين الشحنات المضادّة. وهذا يعني أنَّ القُوى الكهربائية بين الأجسام الكبيرة تلغي كلَّ منها الأخرى، لكنَّها سائدة على المستوى الذرِّي والجزيئي. وتلك القوى الكهرومغناطيسية هي المسؤولة عن كلِّ الكيمياء والبيولوجيا.

3 ـ القوَّة النووية الضعيفة: تسبّب النشاط الإشعاعي وتلعب دورًا

حيويًّا في تكوين العناصر في النجوم وفي الكون المُبكّر. مع ذلك، فنحن لا نتعامل مباشرة مع تلك القوّة في حياتنا اليومية.

4 ـ القوَّة النووية القوية: تُمسك تلك القوى بالبروتونات والنيوترونات مع بعضها داخل نواة الذرّة. وتمسك أيضًا البروتونات والنيوترونات نفسها، وهي ضرورية لكون تلك الجسميات مكوّنة من جسيمات أدقّ، كالكواركات التي أشرنا إليها في الفصل الثالث. والقوّة القوية هي مصدر طاقة الشمس والطاقة النووية، لكنها مثل القوّة الضعيفة لجهة أننا لا نتعامل معها مباشرة.

كانت الكهرومغناطيسية هي أوّل قوّة ابتكرت لها نسخة كمومية. فنظرية الكمِّ الخاصّة بالمجال الكهرومغناطيسي والتي تُسمّى بالديناميكا الكهربائية الكمومية أو QED اختصارًا(*)، قد تطوّرت في أربعينيّات القرن العشرين بواسطة ريتشارد فاينمان وآخرين، وقد أصبحت نموذجًا لكلّ نظريَّات المجال الكمومي. وكما قلنا، فوفقًا للنظريَّات الكلاسيكية فإنَّ القُوى تنتقل بواسطة المجالات. لكن في نظريَّات المجال الكمومي يتمّ تصوير مجالات القوّة على أنَّها مصنوعة من جسيمات أولية مختلفة تسمّى بوزونات bosons، وهي جسيمات حاملة للقوّة تحلّق جيئةً وذهابًا بين جسيمات المادّة لنقل القُوى. تسمّى جسيمات المادّة فيرمونات fermions، والإلكترونات والكواركات هي أمثلة للفيرمونات. والفوتون، أو جسيم الضوء، هو مثال للبوزون. والبوزون هو ما ينقل القوّة الكهرومغناطيسية. وما يحدث هو أنَّ جسيم المادّة مثل الإلكترون ينبعث منه بوزون أو جسيم القوّة، ويرتدُّ عنه مثل ارتداد المدفع بعد إطلاق القذيفة. وعندها فإنَّ

(*) يُطلق عليها أيضًا مسمى نظرية الحقل الكمومي أو كهروديناميكا الكم.

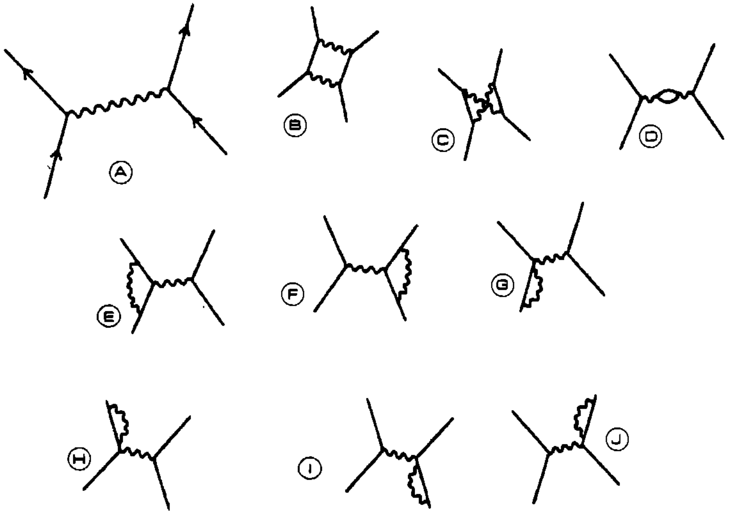
جسيم القوّة يتصادم مع جسيم مادّة آخر ويتمّ امتصاصه، ممّا يغيّر حركة هذا الجسيم. ووفقًا للديناميكا الكهربائية الكمومية، فإنَّ كلَّ التفاعلات البينية فيما بين الجسيمات المشحونة ـ الجسيمات التي تشعر بالقوّة الكهرومغناطيسية ـ يتمُّ وصفُها بمصطلحات تبادل الفوتونات.

لقد تمّ اختبار تنبُّؤات الديناميكا الكهربائية الكمومية، ووجد أنَّها تتوافق مع النتائج التجريبية بدقَّة كبيرة. لكن قد يكون من الصعب القيام بالحسابات الرياضية التي تتطلَّبُها الديناميكا الكهربائية الكمومية. والمشكلة، كما سنرى لاحقًا، هي أنَّ الرياضيات تصبح معقَّدة عندما نضيف للإطار السابق الخاصّ بتبادل الجسيمات، ما تُوجبه نظرية الكمِّ من أنَّ الجسيم الواحد يشتمل على كلِّ التواريخ التي يمكن حدوث التفاعل البيني بها ـ على سبيل المثال، كلُّ الطرق التي يمكن أن يتم بها تبادُل جسميات القوّة. ولحُسن الحظِّ، مع ابتكار فكرة التواريخ البديلة ـ وهي طريقة للتفكير في نظريَّات الكمِّ التي تم وصفها في الفصل السابق ـ فإنَّ فاينمان قد طوَّر طريقة بيانية بارعة لحساب التواريخ المختلفة، وهي الطريقة التي تطبق اليوم ليس على ديناميكا الكمّ الكهربائية وحسب لكن على كلِّ نظريَّات المجال الكمومي.

تمنحنا طريقة فاينمان البيانية وسيلة لرؤية كلّ مصطلح في محصّلة كلّ التواريخ. وتُسمَّى تلك الصور برسوم فاينمان التوضيحية، وهي واحدة من أكثر أدوات الفيزياء الحديثة أهمية. وفي ديناميكا الكمِّ الكهربائية يمكن تمثيل مُحصّلة كلّ التواريخ المحتملة كمحصّلة كلّ رسوم فاينمان التوضيحية المبيّنة كما يلي، والتي تمثّل بعض الطرق المحتملة للإلكترونين كي يتفرَّق أحدهما عن الآخر بواسطة القوّة الكهرومغناطيسية. في هذه الرسوم التوضيحية فإنَّ الخطوط

المتّصلة تمثّل الإلكترونات، والخطوط المتموّجة تمثّل الفوتونات. ويُفهم الزمان كعملية تتقدم من أسفل إلى أعلى، وتتناظر أماكن ارتباط الخطوط مع الفوتونات لكونها تنبعثُ أو تمتصُّ من الإلكترونات. يمثِّل الرسم التوضيحي (A) الإلكترونين يقترب أحدهما من الآخر، ويتبادلان الفوتون، ومن ثمَّ يكملان طريقهما. تلك هي أبسط طريقة يمكن أن يتفاعل بها إلكترونان كهرومغناطيسيًّا، لكن يجب علينا أن نضع في اعتبارنا كلّ التواريخ المحتملة. ومن ثم يجب علينا إدراجُ رسوم توضيحية مثل (B). هذا الرسم التوضيحي يصوّر أيضًا خطّين يتقابلان ـ الإلكترونين المتقاربين ـ وخطين متباعدين ـ الإلكترونين المتفرّقين ـ لكن في هذا الرسم التوضيحي فإنَّ الإلكترونين يتبادلان فوتونين قبل أن يُحلّق أحدهما بعيدًا عن الآخر. إن الرسوم التوضيحية تَصوّر فقط عددًا قليلًا من الاحتمالات، وفي الواقع يوجد هناك عدد لا نهائي من الرسوم التوضيحية التي يجب وضعُها في الحسبان رياضيًّا.

إنَّ رسوم فاينمان التوضيحية ليست فقط طريقة مُحكمَة لتصوير وتصنيف كيفية حدوث التفاعلات البينية. فرسوم فاينمان التوضيحية توفر قواعد تسمح لك بأن تستخلصَ تعبيرًا رياضيًّا من الخطوط والقمم في كلِّ رسم. فاحتمالية أنَّ الإلكترون القادم بمقدار كمية حركة ابتدائية، سينتهي به المقام مبتعدًا بمقدار كمية حركة نهائية خاصّة يتحصّل عليها عندئذ من جمع مُحصّلة إسهامات كلّ رسم فاينمان الإيضاحي. قد يتطلّب هذا بعض الجهد، لأنّه وكما قلنا، هناك عددٌ لانهائي منها. الأكثر من ذلك، أنَّه بالرغم من أنَّ الإلكترونات القادمة أو الذاهبة ستتخلَّى عن مقدار مُحدّد من الطاقة ومن كمية الحركة، فإنَّ الجسيمات في الأنشوطات المقفولة في الرسم التوضيحي يمكن أن



رسوم فاينمان التوضيحية: تتعلّق تلك الرسوم التوضيحية بالعملية التي يتباعد فيها الإلكترونان أحدهما عن الآخر

يكون لديها أيُّ مقدارٍ من الطاقة ومن كمية الحركة. وهذا مُهمّ لأنّه لتكوين مُحصّلة فاينمان، يجب على المرء أن يجمع ليس فقط كلّ الرسوم التوضيحية لكن أيضًا كلّ قيم الطاقة وكمية الحركة تلك.

لقد أمدّت رسوم فاينمان التوضيحية الفيزيائيّين بمساعدة هائلة لرؤية وحساب احتمالات العملية التي تصفها ديناميكا الكمّ الكهربائية. لكنَّها لم تعالج إحدى أهم العِلل التي تعاني منها النظرية: فعندما تضيف إسهامات عدد لا نهائي من التواريخ المختلفة، ستحصل على نتائج لانهائية. (إذا تناقصت مُددٌ متلاحقة في محصّلة لانهائية بسرعة كافية، من المحتمل أن تكون المُحصّلة نهائية، لكنَّ هذا لسوء الحظِّ لا يحدث هنا). وبشكل خاصٍّ، عند إضافة رسوم فاينمان التوضيحية

بعضها إلى بعض، سيبدو أنَّ الإجابة تُوحي بأنَّ الإلكترون لديه كتلة وشحنة لانهائيَّتين. وهذا أمر سخيفٌ، حيث يمكننا قياس الكتلة والشحنة لأنَّهما محدودتان. وللتعامل مع تلك اللانهائيّات، فقد تمَّ تطوير عملية سمِّيت إعادة التطبيع renormalization.

تتضمَّن عملية إعادة التطبيع خصم المقادير المعرَّفة بأنَّها لانهائية وذاتُ قيم سلبية، وبعمل إحصاء رياضي دقيق بمثل هذه الطريقة، فإنَّ مُحصّلة القيم السلبية اللانهائية والقيم الإيجابية اللانهائية التي تنشأ من النظرية يتمّ إلغاؤها غالبًا، مع ترك عدد قليل متبقٍّ مثل القيم النهائية الملاحظة للكتلة والشحنة. قد تبدو تلك المعالجات كنوع من الأشياء التي تجعلك ترسب في فصل امتحان الرياضة المدرسي، فإعادة التطبيع كما تبدو فعليًّا مريبة رياضيًّا. فإحدى تبعات ذلك أنَّ القيمَ التي تمَّ الحصول عليها بتلك الطريقة لكتلة وشحنة الإلكترون يمكن أن تكون أيّ عدد نهائي. ولهذا ميزة أنَّ الفيزيائيّين قد يختارون اللانهائيّات السلبية بطريقة تعطي الإجابة الصحيحة، لكنَّ العيب أنَّ كتلة وشحنة الإلكترون لا يمكن التنبُّؤ بهما من النظرية لهذا السبب. لكن بمجرد القيام بتحديد كتلة وشحنة الإلكترون بتلك الطريقة، سيمكننا توظيف ديناميكا الكمِّ الكهربائية للقيام بالعديد من التنبُّؤات الأخرى الدقيقة جدًّا، التي تتوافق كلُّها بشكل قريب تمامًا من الملاحظة، لذلك فإعادة التطبيع هي أحد العناصر الأساسية لديناميكا الكمِّ الكهربائية. وأحد الانتصارات المبكِّرة لديناميكا الكمِّ الكهربائية، على سبيل المثال، كان التنبُّؤ الصحيح بما يسمَّى بإزاحة لامب Lamb shift، وهي تغييرٌ طفيفٌ في طاقة أحد حالات ذرّة الهيدروجين تمّ اكتشافه عام 1947.

إنَّ نجاح إعادة التطبيع في ديناميكا الكمِّ الكهربائية، قد شجَّعت

محاولات البحث عن مجال نظريَّات المجال الكمومي التي تصفُ القُوى الثلاثة الأخرى الموجودة في الطبيعة. لكنَّ تقسيم قُوى الطبيع إلى أربع فئات هو على الأرجح عملية اصطناعية ونتيجة لنقص قدرت على الفهم. ولهذا، فقد فكَّر العلماء في نظرية كلِّ شيء التي ستوحِّ الفئات الأربعة في قانون واحد يتوافق مع نظرية الكمِّ. وقد يكون هذ هو الكأس المُقدَّس للفيزياء.



رسوم فاينمان التوضيحية: قاد ريتشارد فاينمان شاحنة صغيرة اشتُهرت بـ رسو فاينمان التوضيحية المرسومة عليها. وقد وضع هذا التصوير الفنيِّ لبيان الصو التوضيحية التي شرحت سابقًا. مع أنّ فاينمان مات في عام 1988، إلا أنَّ الشاح الصغيرة لا تزال موجودةً في مخزن قريب من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في جنوب كاليفورنيا

جاءت إحدى الدلالات بأنَّ التوحيد هو المقاربة الصحيحة مر نظرية القوّة الضعيفة. فنظرية المجال الكمومي التي تصف القوّ الضعيفة من تلقاء نفسها لا يمكن إعادة تطبيعها وذلك لأنَّ به

لانهائيات لا يمكن إلغاؤها بخصم عدد نهائيٍّ من المقادير كالكتلة والشحنة. ومع ذلك، ففي عام 1967 طرح كلٌّ من عبد السلامٍ(*) Ab-dul Salam وستيفن واينبرج Steven Weinberg بشكلٍ مستقلٍ نظريةً كانت فيها المغناطيسية الكهربائية موحّدة بقوّة ضعيفةٍ، وقد وجدا أنَّ هذا التوحيد يعالج وباء اللانهائيات. فسمِّيت القوّة الموحّدة بالقوّة الكهربائية الضعيفة، حيث يمكن إعادة تطبيع نظريّتها، وقد تنبّأت بثلاثة جسيمات جديدة تسمّى +W و -W و Z0. واكتشف الدليل على وجود Z0 في سيرن(**) CERN بجينيف في عام 1973. ومُنح عبد السلام و واينبرج جائزة نوبل لعام 1979، بالرغم من أنَّ جسيمات W و Z لم يتم ملاحظتها مباشرة حتَّى عام 1983.

يمكن إعادة تطبيع القوّة القوية من تلقاء نفسها في نظرية تسمَّى الديناميكا اللونية الكمومية QCD. وحسب الديناميكا اللونية الكمومية، فإنَّ البروتون والنيوترون وعددًا من جسيمات المادّة الأولية الأخرى تكون مصنوعةٌ من كواركات، وهي تمتلك خاصية لافتة للنظر يسمّيها الفيزيائيّون "اللون" (ومن هنا جاء مصطلح "ديناميكا لونية" مع أنَّ ألوان الكوارك هي فقط علامات مساعدة ـ ولا صلة لها بالألوان المرئية). تأتي الكواركات في ما يُسمَّى بثلاثة ألوان: أحمر، وأخضر، وأزرق. وإضافةً لذلك، فإنَّ لكلِّ كوارك جسيمًا مضادًّا شريكًا، وألوان تلك الجسيمات الشريكة تكون مضادّ الأحمر، ومضادّ الأخضر، ومضادّ الأزرق. والفكرة أنَّ المركّبات الوحيدة التي تكون مُحصّلتها بلا لون يمكن أن توجد كجسيمات حرّة. وهناك طريقتان للحصول

(*) عالِم باكستاني شهير.

(**) سِيرن هي اختصار المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية، وتعتبر أضخم مختبر في العالم في فيزياء الجسيمات ـ المترجم.

على مثل تلك المُركَّبات من الكوارك المتعادل. فاللون وضدّ اللون يُلغي بعضهما بعضًا، وبالتالي فإنَّ الكوارك وضدَّ الكوارك سيُشكِّلان زوجًا عديم اللون، جسيمًا غير مستقرّ يُسمَّى الميزون meson. وأيضًا، عند مزج كلِّ الألوان الثلاثة (أو مضادّة الألوان)، فإنَّ النتيجة المُتحصّلة تكون بلا لون. وثلاثة كواركات، واحد من كلّ لون، ستُشكّل جسيماتٍ مستقرّةً تُسمَّى باريونات baryons، ومن أمثلتها البروتونات والنيوترونات (والثلاثة كواركات المضادّة) تكون (الجسيمات المضادّة للباريونات). والبروتونات والنيوترونات هي الباريونات التي تشكِّل نواةَ الذرَّة وهي أساس كلّ المادّة الطبيعية الموجودة في الكون.

وتمتلك الديناميكا اللونية الكمومية أيضًا خاصّية تُسمَّى حرّيّة بلا أعراض، والتي أشرنا لها دون تسميتها في الفصل الثالث. والحرّيّة بلا أعراض تعني أنَّ القُوى القوية بين الكواركات تكون ضعيفةً عندما تكون الكواركات قريبة من بعضها البعض لكنَّها تزداد إذا ابتعد بعضها عن بعض، كما لو أنَّها مرتبطة بأشرطةٍ مطاطية. وتفسر الحرية بلا أعراض لماذا لا نرى الكواركات معزولةً في الطبيعة كما لا نستطيع إنتاجها في المعمل. مع ذلك، وبالرغم من أنَّنا لا نستطيع ملاحظة الكواركات المفردة، فإنَّنا نقبل هذا النموذج لأنَّه يعمل بشكل جيِّدٍ لتفسير سلوك الفوتونات، والنيوترونات والجسيمات الأخرى للمادّة.

بعد توحيد القُوى الضعيفة والكهرومغناطيسية، بَحَثَ العلماء في سبعينيَّات القرن العشرين عن طريقة لإخضاع القوّة القوية للنظرية. وهناك عددٌ ممَّا يُسمَّى النظريَّات المُوحَّدة العظمى GUTs التي توحّد القوّة القوية مع القوّة الضعيفة والقوّة الكهرومغناطيسية، لكنَّها تتنبَّأ

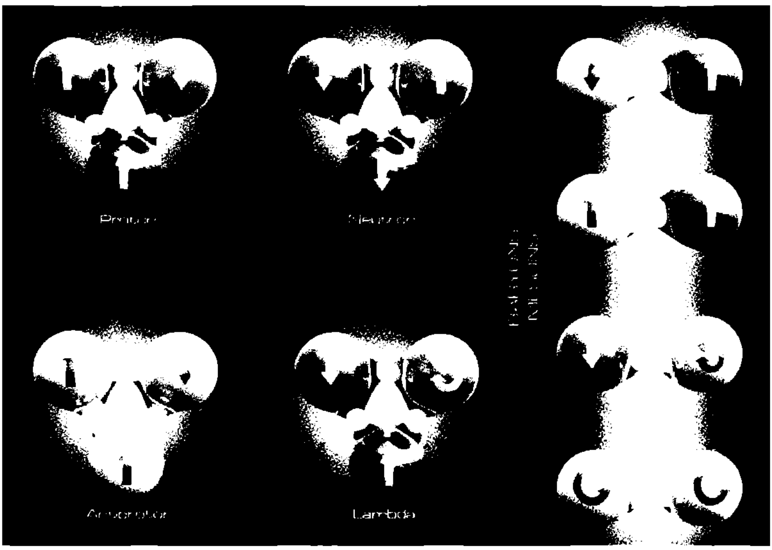
غالبًا بأنَّ البروتونات، المادّة الخامُ التي صنعنا منها، يجب أن تتحلَّلَ في المتوسط بعد حوالَي 10^{32} سنة. وهذا زمن طويل جدًّا، في كون عمره حوالَي 10^{10} سنة فقط. لكنَّ في فيزياء الكمّ، عندما نقول إنَّ متوسط عمر جسيم هو 10^{32} سنة، فنحن لا نعني أنَّ معظم الجسيمات تعيش تقريبًا 10^{32} سنة، فبعضُها أقلُّ وبعضها أكثر. وبدلًا من ذلك فما نعنيه هو أنَّه في كلِّ سنة تكون للجسيم فرصةٌ واحدةٌ من 10^{32}فرصة لكي يتحلّل. ونتيجة لذلك، إذا شاهدت خزَّانًا يحتوي على 10^{32} بروتون لعدِّة سنوات قليلة فقط، فلا بُدَّ أن ترى بعض البروتونات تتحلّل. ليس من الصعب جدًّا بناء مثل هذا الخزَّان، لأنَّ 10^{32} بروتون يمكن أن تحتوي عليهم عدّة آلاف فقط من أطنان المياه. وقد أجرى العلماء مثل هذه التجارب، وانتهت إلى أنَّ رصد التحلُّلات وتمييزها عن الأحداث الأخرى التي قد تسبّبها الأشعة الكونية التي تمطرنا باستمرار من الفضاء ليست موضوعًا سهلًا. ولتقليل هذا الصخب، فقد أُجريت التجربة عميقًا داخل مكان كمنجم شركة كاميوكا -Kamio ka وسميلتنج Smelting للتعدين على عمق 3281 قدمًا تحت جبل في اليابان يُعتبر مَحميًّا بدرجةٍ ما من الأشعّة الكونية. ونتيجة للملاحظات في عام 2009، فقد استخلص الباحثون أنَّه إذا كانت البروتونات تتحلَّلُ أصلًا، فإنَّ عُمر البروتون يكون أكبر من حوالَي 10^{34} سنة، وكانت تلك أنباءٌ سيّئة بالنسبة للنظريَّات المُوحّدة العظمى.

ولأنَّ أدلّة الملاحظات المبكِّرة قد فشلت أيضًا في دعم النظريَّات المُوحّدة العظمى، فإنَّ معظم الفيزيائيِّين قد تبنّوا نظرية معدَّلة تسمَّى النموذج القياسي، تمثّل نظريةً موحّدة للقوى الكهربائية الضعيفة، كما تبنَوا الديناميكا اللونية الكمومية كنظرية للقوى القوية. لكن في

النموذج القياسي، فإنَّ القوة الكهربائية الضعيفة والقوة القوية يعملان بشكل منفصل وليسا مُتحدتَين فعليًّا. إنَّ النموذج القياسي ناجحٌ جدًّا ومتوافق مع كلِّ الأدلّة الملاحظة حاليًا، لكنَّه غيرُ مُرض بشكل نهائي، لأنّه يتضمَّنُ الجاذبية على الرغم من كونه لا يُوحِّد بين القُوة الكهربائية الضعيفة، والقوة القوية. قد يثبت أنّه من الصعب عمل تشكيلة متجانسة من القوّة القوية مع القوة الكهرومغناطيسية والضعيفة، لكنَّ تلك المشاكل هي لا شيء مقارنةً بمشكلة دمج الجاذبية مع القوى الثلاثة الأخرى، أو حتَّى ابتكار نظرية كمومية للجاذبية قائمة بذاتها. وسبب التأكُّد من الصعوبة الشديدة لابتكار نظرية كمومية للجاذبية هو مبدأ الريبة لهايزنبرج، الذي ناقشناه في الفصل الرابع. الأمر ليس واضحًا، لكنَّه ينتهي إلى أنَّه وفقًا لهذا المبدأ، فإنَّ قيمة المجال ومعدّل تغييره يلعبان الدورَ نفسَه الذي يلعبه موضع الجسيم وسرعته. بما يعني أنَّه كلَّما تمَّ تحديدُ أحدهما بدقَّة أكبر، قلَّ تحديد الآخر. والنتيجة المهمّة لهذا هي أنَّه لا وجود لشيء مثل الفضاء الفارغ، لأنَّ الفضاء الفارغ يعني أنَّ كلاًّ من قيمة المجال ومعدّل تغييره هما صفر بالضبط. (إذا لم يكن معدّل تغيير المجال صفرًا، فلن يظلَّ الفضاء فارغًا). ولأنَّ مبدأ الريبة لا يسمح بأن تكون قيمة كلٍّ من المجال ومعدّل تغييره مضبوطة، فإنَّ الفضاء لن يكون خاليًا أبدًا. قد يكون في حالة من الطاقة الدنيا تسمَّى الفراغ vacuum لكن تلك الحالة تخضع لما نسمِّيه اضطرابات كمومية quantum jitters أو تقلُّبات الفراغ - vacuum flactuations حيث ترتعش الجسيمات والمجالات دخولًا وخروجًا من الوجود.

قد يفكِّر المرء في تقلُّبات الفراغ كزوج من الجسيمات التي تظهر معًا في وقتٍ ما، وتتحرّك مبتعدةً، ثم تعود معًا ليفني كلٌّ منهما الآخر.

وبمصطلحات الرسوم التوضيحية لفاينمان، فإنَّها مماثلة للأنشوطات المقفولة. تسمَّى تلك الجسيمات بالجسيمات الافتراضية، وبخلاف الجسيمات الحقيقية، فإنَّ الجسيمات الافتراضية لا يمكن ملاحظتها بمستكشف الجسيمات، إلَّا أنَّه يمكن قياس تأثيراتها غير المباشرة، مثل التغييرات الطفيفة في طاقة مدارات الإلكترون، ويتَّفق هذا القياس مع التنبُّؤات النظرية بدقّة لافتة للنظر. المشكلة أنَّ الجسيمات الافتراضة لديها طاقة، ولأنَّه يوجد عدد لانهائي من الأزواج الافتراضية، فلا بدَّ من أن يكون لديها كمية لانهائية من الطاقة. وحسب النسبيّة العامَّة، فإنَّ هذا يعني أنَّها قد تتسبَّبُ في انثناء الكون لحجم صغير بشكلٍ لانهائيٍّ، ومن الواضح أنَّ هذا لا يحدث.



الباريونات والميزونات: يقال إنَّ الباريونات والميزونات مصنوعة من كواركات مرتبطة معًا بقوّة قوية. عندما تتصادمُ مثل تلك الجسيمات، فإنَّها يمكن أن تتبادل الكواركات، لكن لا يمكن ملاحظة الكواركات بشكل مفرد

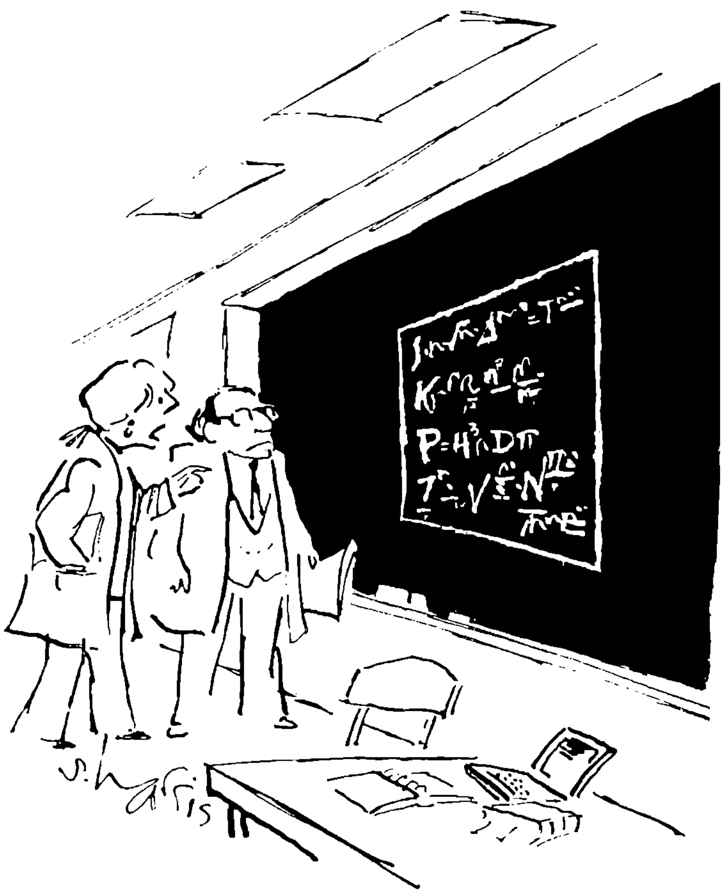
هذا الوباء من اللانهائيات يشبه المشكلة التي حصلت في نظريَّات

القوى القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية، فيما عدا تلك الحالاتِ التي تزول فيها اللانهائيات بإعادة التطبيع. لكنَّ الأنشوطات المقفولة في رسوم فاينمان التوضيحية للجاذبية تنتج اللانهائيات التي لا يمكن استيعابها عن طريق إعادة التطبيع، لأنَّه في النسبية العامّة لا توجد عوامل متغيّرة بما يكفي لإعادة تطبيعها (مثل قيم الكتلة والشحنة) لإزالة كلّ اللانهائيات الكمومية من النظرية. لذلك ليس لدينا سوى نظرية جاذبيةٍ تتنبَّأ بأنَّ قيمًا معيّنةً، كتقوّس الزمكان، هي قيمٌ لانهائية إذ لا مجال لاستمرار كون قابل للسُّكنَى. وهذا يعني أنَّ الإمكانية الوحيدة للحصول على نظرية ذات معنى يجب أن يتمَّ فيها إلغاء كلّ اللانهائيات بدرجةٍ ما، دون اللجوء لإعادة التطبيع.

في عام 1976 وُجِد حلٌّ ممكنٌ لتلك المشكلة، سمِّي بالجاذبية الفائقة. لم يتمّ إضافة الكلمة البادئة "فائق" super لأنَّ الفيزيائيين اعتقدوا أنَّه كان أمرًا "فائقًا" أن تعمل تلك النظرية للجاذبية الكمومية فعلًا. وعوضًا عن ذلك، فإنَّ "فائقًا" تعود لنوع من التناظر الذي تمتلكه النظرية يسمَّى التناظر الفائق.

يقال في الفيزياء إن النظام يكون لديه تناظر إن كانت خصائصُه لا تتأثَّر ببعض التحوّلات المعيّنة مثل دورانه في الفضاء أو بأخذ صورته في المرآة. على سبيل المثال، إذا قلّبت قطعة بقلاوة رأسًا على عقب، فستبدو هي نفسها (إلّا لو كانت مزيّنة من أعلى بالشوكولاتة، وفي تلك الحالة فمن الأفضل أن تأكلها). والتناظر الفائق هو نوع أكثر إتقانًا من التناظر الذي لا يصاحبه تحوّل في الفضاء الاعتيادي. وأحد التطبيقات المُهمّة للتناظر الفائق هي جسيمات القوّة وجسيمات المادّة ومن ثم القوّة والمادّة، فهما فعليًّا وجهان للشيء نفسه. وبكلامٍ

يٍّ، فإنَّ هذا يعني أنَّ كلَّ جسيم مادّة كالكوارك يجب أن يكون له يم شريك هو جسيم القوّة، وكلّ جسيم قوّة كالفوتون يجب أن ن لديه جسيم شريك هو جسيم المادّة. وهذا يتضمّن إمكانية حلّ كلة اللانهايات، لأنَّه يؤدِّي إلى أنَّ لا نهايات الأنشوطات المقفولة سيمات القوّة تكون إيجابية، بينما لانهايات الأنشوطات المقفولة



، من وضع مربّع حول هذه المعادلات، إلَّا أنِّي أخشى أنَّ ذلك لا يجعلُها نظريةً

لجسيمات المادّة تكون سالبة. ولهذا فاللانهايات في النظرية الناشئة من جسيمات القوّة وشريكتها من جسيمات المادّة تنحو نحو الإلغاء. لسوء الحظِّ، فإنِّ العمليات الحسابية المطلوبة لحساب إذا ما كان يتوجَّب بقاء أيّة لانهايات غير ملغية في الجاذبية الفائقة هي عمليات حسابية صعبة وطويلة جدًّا وتحتوي على إمكانية الخطأ بحيث لم يوجد من هو مستعدّ لإجرائها. ومعظم الفيزيائيين يعتقدون مع ذلك، أنَّ الجاذبية الفائقة ربَّما كانت الحلَّ الصحيح لمشكلة توحيد الجاذبية مع القوى الأخرى.

ربَّما تعتقد أنَّ صلاحية التناظر الفائق قد تكون شيئًا سهل الاختبار ـ وما عليك إلا اختبار خصائص الجسميات الموجودة لرؤية إن كانت متزاوجة أم لا. لكن لم يتم ملاحظة مثل هذا الجسيم الشريك. فالعديد من العمليات الحسابية التي قام بها الفيزيائيّون تشير إلى أنَّ الجسيمات الشريكة التي تخصُّ الجسيمات التي نلاحظها قد تصل كتلتها لآلاف المرّات من كتلة البروتون، إن لم تكن أثقلَّ حتَّى. إنَّ هذه الكتلة ثقيلة جدًّا بالنسبة لتلك الجسيمات لكي يمكن مشاهدتها في أية تجربة حتَّى الآن، لكنَّ هناك أملًا في أنَّ تلك الجسيمات سيتمّ تخليقها فعليًّا في مصادم الهيدرونات الكبير بجينيف.

إن فكرة التناظر الفائق كانت مفتاحًا لابتكار الجاذبية الفائقة، لكن هذا المفهوم قد نشأ فعليًّا منذ سنوات قبل ذلك مع دارسة العلماء النظريين لنظرية وليدة تُسمَّى بنظرية الوتر. فحسب نظرية الوتر، فإنَّ الجسيمات ليست نقط، ولكنَّها أشكال من الذبذبة يكون لها طول بلا عرض أو ارتفاع ـ كقطع رفيعة لانهائية من الوتر. وتؤدِّي نظريَّات الوتر إلى اللانهائيات أيضًا، لكن يُعتقد أنَّها ستزول كلها في النسخة

الصحيحة. لكنَّها ذات ملمح آخر غير اعتيادي: فهي تكون متّسقة فقط عندما يكون للزمكان عشرة أبعاد، بدلًا من الأبعاد الأربعة المعتادة. قد تبدو الأبعاد الأربعة شيقةً، لكنَّها ستتسبَّبُ في مشاكلَ حقيقيةٍ إن نسيت المكان الذي ركنت فيه سيارتك! وإذا كانت تلك الأبعاد الإضافية موجودة، فلماذا لا نراها؟. حسب نظرية الوتر، فإنَّ هذه الأبعاد مقوّسة لتصل إلى مساحة صغير جدًّا. ولتصوير ذلك، تخيّل مستوًى ثنائيَّ الأبعاد. سنسمِّي المستوى ثنائيَّ الأبعاد لأنَّك تحتاج لعددين (على سبيل المثال، إحداثيان أفقي ورأسي) لكي تحدّد أيَّ نقطة عليه. هناك مساحةٌ أخرى ثنائيةُ الأبعاد هي سطح ماصّة العصير. فإذا أردت أن تحدِّد نقطة على هذه المساحة، فستحتاج لمعرفة أين توجد النقطة على طول ماصّة العصير، وأيضًا مكانها على بعدها الدائري. لكن إن كانت ماصّةُ العصير رفيعةً جدًّا، فسيمكنك القيام بعمل تقريب جيد للموضع مستخدمًا فقط الإحداثي المارّ بطول ماصّة العصير، وتتجاهل بالتالي البعد الدائري. وإن كان طول قطر ماصّة العصير جزءًا من مليون من مليون من مليون من مليون جزء من البوصة، فربّما لا تلاحظ البُعد الدائري على الإطلاق. تلك هي الصورة التي تقدِّمُها نظرية الأوتار للأبعاد الإضافية ـ فهي مقوّسة جدًّا، أو مفتولةٌ بمقياس صغير جدًّا بحيث لا نراها. في نظرية الوتر فإنَّ الأبعاد الإضافية مفتولةٌ لما نسمِّيه بالفضاء الداخلي، كمقابل للفضاء ثلاثيِّ الأبعاد الذي نقابله في حياتنا اليومية. وكما سنرى، فالحالات الداخلية ليست فقط أبعادًا مخفيّة ومكنوسة تحت السجادة ـ لكنَّ لها دلالةً فيزيائيةً مهمّةً.

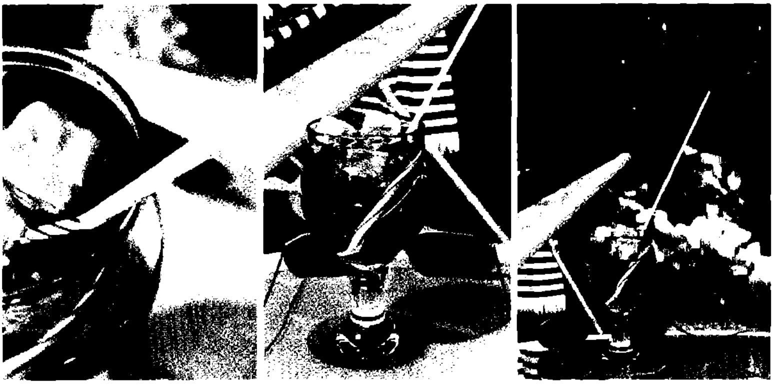
بالإضافة لموضوع الأبعاد، فإنَّ نظرية الوتر تُعاني من مسألة أخرى محرجة: إذ يظهر هناك على الأقل خمسُ نظريَّاتٍ مختلفة وملايينُ

الطرق التي يمكن أن يتمَّ بها تضفير هذه الأبعاد الإضافية، الأمر الذي كان مربكًا لاحتمالات المدافعين عن نظرية الوتر باعتبارها النظرية الفريدة لكلِّ شيء. ثم وفي حوالَي عام 1994، بدأ الناس في اكتشاف الازدواجية، حيث إنَّ نظريَّات الوتر المختلفة، والطرق المختلفة لتضفير الأبعاد الإضافية، هي ببساطة طرق مختلفة لوصف الظاهرة نفسها في الأبعاد الأربعة. والأكثر من هذا أنَّهم وجدوا أنَّ الجاذبية الفائقة لها صلة بالنظريَّات الأخرى بتلك الطريقة أيضًا. ومنظِّرو نظرية الوتر مقتنعون الآن بأنَّ نظريات الوتر الخمس المختلفة ونظرية الجاذبية الفائقة تقريبات مختلفة وحسب للنظرية الأكثر أساسية، وكلّ منها صالحٌ في حالات مختلفة.

تلك النظرية الأكثر أساسية تسمَّى النظرية ـ "إم"، وقد أشرنا لها سابقًا. ويبدو أنه لا أحد يعرف ما ترمز له "إم" M ، قد تكون من سيّد master أو معجزة miracle أو لغز mystery، وقد تدلُّ على الثلاثة. فما زال البشر يحاولون للآنَ حلَّ شفرة طبيعة النظرية ـ "إم"، لكنَّ هذا قد لن يكون مُمكنًا. وقد يكون توقُّع الفيزيائيين التقليديِّ بوجود نظرية واحدة للطبيعة أمرًا يتعذَّر الدفاع عنه، ولن توجد صيغة واحدة. ولكي نصف الكون ربَّما يكون علينا أن نوظِّف نظريَّات مختلفةً في الحالات المختلفة. قد يكون لكلِّ نظريةٍ نسختُها الذاتيّةُ عن الواقع، لكن طبقًا للواقعية المعتمدة على النموذج، فإنَّ هذا سيكون مقبولًا طالما تتوافق النظريَّات في تنبؤاتها عندما تتداخل أو عندما يتمُّ تطبيق كلّ منها.

وسواء كانت النظرية ـ "إم" موجودة كصيغة مفردة أو فقط كشبكة من النظريَّات، فنحن لا نعرف بعضاً من خصائصها. فأولًا، النظرية

ـ "إم" لها أحدَ عشرَ بعدًا زمكانيًّا، وليس عشرة. فنظريَّات الوتر قد تشكَّكت طويلًا في أنَّ التنبُّؤ بأربعة أبعادٍ ربَّما يحتاج للضبط، والجهود الحديثة قد أوضحت أنَّ البُعد الواحد قد تمَّ التغاضي عنه فعليًّا. يمكن أيضًا أن تحتوي النظرية ـ "إم" ليس فقط على أوتار متذبذبة وحسب، بل أيضًا على جسيمات مُحدّدة، وأغشية ثنائيّة الأبعاد، وقطرات ثلاثية الأبعاد، وأشياء أخرى يصعب تصويرُها حتَّى إنَّها تشغل أكثر من بعد مكاني، قد يصلوا إلى تسعة. وتلك الأشياء تسمَّى بي ـ برانات p-branes (حيث تمتدُّ p من صفر إلى تسعة).



ماصّات العصير والخطوط: الماصّة (الشفاطة) هي ثنائية الأبعاد، لكن لو كان قطرها صغيرًا بما يكفي ـ أو إذا شوهدت من مسافة ـ فإنّها ستظهر أحادية البعد، مثل الخط

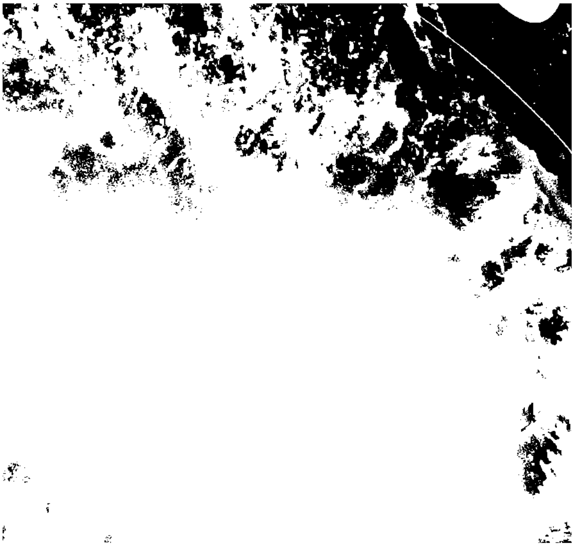
ماذا عن العدد المهول لطرق تضفير الأبعاد الدقيقة؟ في النظرية ـ "إم" لا يمكن تضفير هذه الأبعاد المكانية الإضافية بأيِّ طريقة. فرياضيات النظرية ـ "إم" تفيد الطريقة التي يمكن تضفير أبعاد الفضاء الداخلي بها. الشكل الصحيح للفضاء الداخلي يحدّد كلًّا من قيم الثوابت الفيزيائية، كشحنة الإلكترون مثلًا، وطبيعة التفاعلات البينية بين الجسيمات الأولية. وبكلماتٍ أخرى، فإنَّها تحدّد القوانين

الظاهرية للطبيعة. نقول "ظاهرية" لأنَّنا نعني القوانين التي نلاحظها في كوننا ـ قوانين القوى الأربعة، كما نعني معايير مثل الكتلة والشحنة التي تميّز الجسيمات الأولية. لكنَّ القوانين الأكثر أساسية هي قوانين النظرية ـ إم.

لذلك تسمح قوانين النظرية ـ "إم" بوجود أكوان مختلفة ذات قوانين ظاهرية أخرى، اعتمادًا على كيفية تضفير الفضاء الداخلي. وتمتلك النظرية ـ "إم" الحلول التي تسمح بوجود العديد من الفضاءات الداخلية المختلفة، ربَّما هي كثيرة بما يقدّر بحوالَي 10^{500}، ما يعني أنَّها تسمح بوجود 10^{500} كون مختلف، لكلٍّ منها قوانينه الخاصّة. ولإعطاء فكرة عن ضخامة ذلك، فكّر في هذا، إذا قُدِّر لأحدٍ الكائنات أن يحلّل القوانين التي يتنبَّأ بها لكلِّ كون من تلك الأكوان في ميللي ثانية واحدة وقد بدأ العمل على ذلك في لحظة الانفجار العظيم، ففي الوقت الحالي يكون قد درس فقط 10^{20} منها. بلا فترات استراحة لشرب القهوة.

لقد أوضح نيوتن منذ عدّة قرون أنَّ المعادلات الرياضية قد تعطي بشكل فظيع وصفًا دقيقًا للطريقة التي تتفاعل بها الأشياء، سواء على الأرضِ أو في السماء. ممَّا قاد العلماء إلى الاعتقاد بأنَّ مستقبل مجمل الكون قد يمكن تفسيرُه، إذا عرفنا فقط النظرية المضبوطة وامتلكنا القدرة الكافية على الحساب. ثم جاء مبدأ الريبة الكمومي والفضاء المنحني والكواركات والأوتار والأبعاد الإضافية، فكانت المُحصّلة الناتجة لكلّ تلك الجهود هي 10^{500} كون، لكلٍّ منها قوانينُ مختلفة، وواحد منها فقط يخصُّ الكون كما نعرفه نحن. إنَّ الأمل الرئيسي لدى علماء الفيزياء في إنتاج نظرية واحدة، تقوم بتفسير القوانين

الظاهرية كنتيجة فريدة محتملة لعدد قليل من الافتراضات ربَّما يجب التخلّي عنه. أين يتركنا ذلك؟ إذا سمحت النظرية ـ "إم" بوجود 10^{500} مجموعة من القوانين الظاهرية، فكيف سيكون مآلنا في هذا الكون، بتلك القوانين الظاهرية لنا؟ وماذا عن تلك العوالم الأخرى المحتملة؟



الفصل السادس

٥

اختيارُ كونِنا

وفقًا لأسطورة شعب البوشونجو Boshongo بوسط إفريقيا، كان هناك في البداية فقط الظلامُ والماءُ والإله الكبير بومبا Bumba. وفي يوم من الأيَّام كان بومبا يعاني من ألم في المعدة، فتقيَّأ الشمس، وفي هذا الحين جفَّفت الشمس بعض المياه فخلَّفت وراءها الأرض. لكنَّ بومبا كان لا يزال يعاني من الألم فتقيَّأ عدَّة مرَّات أخرى. ليجيء بعد ذلك القمر والنجوم ثم بعض الحيوانات: الفهد والتمساح والسلحفاة وأخيرًا الإنسان. كما أفادت شعوب المايا المكسيكية والأمريكية الوسطى أنَّه في وقت مماثل قبل الخلق كان كلُّ الموجود البحرُ والسماءُ والخالق. وفي أسطورة المايا كان الخالق غير سعيد لعدم وجود أحد يمجِّدُه، فخَلقَ الأرض والجبال والأشجار ومعظم الحيوانات. لكنَّ الحيواناتِ لم تستطع التكلُّم، لذلك قرَّر أن يخلق البشر. فصنَعَهم من طين الأرض أوَّلًا، لكنَّهم تكلَّموا فقط بكلام ليس له معنًى. فتركهم يتحلّلون وحاول مرّة أخرى، وفي هذه المرّة قام بتفصيل الناس من الخشب، فكان الناس باهتين. فقرَّر أن يُدمِّرَهم لكنَّهم فرُّوا إلى الغابة، وعانوا من التضرُّر طوال طريقهم فتغيروا قليلًا، ليخلق ما نعرفه اليوم بالقرود. بعد هذا الإخفاق، توصَّل الخالق في

النهاية إلى الصيغة الصحيحة، فقام بتكوين الإنسان الأوّل من حبوب الذرة البيضاء والصفراء. ونحن اليوم نصنع الإيثانول من الذرّة، لكن لم نصل أبعدَ من عمل الخالق الفذّ بتكوين البشر الذين يشربونه.

تُحاولُ جميع أساطير الخلق من هذا النوع الإجابة عن الأسئلة التي نعالجها في هذا الكتاب: لماذا يوجد الكون؟ ولماذا يكون هذا الكون بالشكل الذي هو عليه؟ لقد نمت قدرتنا على معالجة مثل تلك الأسئلة بشكل ثابت عبر القرون منذ اليونانيين القدامى، وبشكل أكثر كثافة على مدى القرن المُنصرِم. ونحن الآنَ جاهزون لتقديم إجابة ممكنة لتلك الأسئلة، مسلَّحينَ بالخلفية التي حصلنا عليها من الفصول السابقة.

قد يكون هناك شيء واحدٌ كان جليًّا حتَّى في الأزمنة المُبكِّرة، وهو إمَّا أن يكون الكون قد خلق حديثًا جدًّا وإمَّا أنَّ الكائنات البشرية قد وجدت فقط في مدى قصير من التاريخ الكوني. هذا لأنَّ الجنس البشري قد تطوّر سريعًا جدًّا في المعرفة والتكنولوجيا، بحيث لو أنَّ وجود البشر قد جرى من حوالَي ملايين السنين، لكان بمقدور الجنس البشري التقدّم كثيرًا لإحراز المزيد من حلِّ هذا الغموض.

وفقًا للعهد القديم، خلق الله آدم وحواء في اليوم السادس من الخلق. حتَّى إنَّ الأسقف آشر Bishop Ussher، كبير أساقفة عموم أيرلندا في الفترة من 1625 إلى 1656، قد حدَّد نشأة العالم بدقَّة أكثر، في التاسعة صباح يوم 27 أكتوبر من عام 4004 قبل الميلاد. ونحن نتبنَّى وجهة نظر مختلفة: بأنَّ البشر مخلوقات حديثة لكنَّ الكون نفسه قد بدأ قبل ذلك بكثير، منذ حوالَي 13.7 مليار سنة.

أول دليل علمي حقيقي على أنَّ للكون بدايةً كان في ثلاثينيات

القرن العشرين. وكما قلنا في الفصل الثالث، كان معظم العلماء في هذا الوقت يعتقدون أنَّ الكون الساكن كان موجودًا دائمًا. وكان الدليل على عكس ذلك غير مباشر، وبني على ملاحظات أدوين هابل التي قام بها بتلسكوب طوله 100 بوصة على جبل ويلسون في هضاب باسادينا بولاية كاليفورنيا. وبتحليل طيف الضوء الذي تبعثه المجرَّات، حدَّد هابل أن كلَّ المجرَّات القريبة تبتعد عنَّا، وأنَّ سرعة ابتعادها تكون أكبر كلَّما كانت أبعد منا. وفي عام 1929 صاغ قانونًا يربط بين معدل ابتعادها مع مسافة بُعدها عنَّا، واستخلص أنَّ الكون يتمدَّد. إذا كان هذا صحيحًا، فلا بُدَّ أنَّ الكون كان أصغر حجمًا في الماضي. في الواقع، إذا استنتجنا استقرائيًّا الماضي البعيد، فكلُّ المادّة والطاقة في الكون لا بُدَّ وأن تكون مركزة في منطقة صغيرة جدًّا من الكثافة وبدرجة حرارة لا يمكن تخيّلُها، وإذا عُدنا للخلف بما يكفي، سيكون هناك في الوقت الذي بدأ فيه كلُّ ذلك، الحدث الذي نُسمّيه الآن بالانفجار الكبير.

تتضمَّن فكرة تمدُّد الكون بعض البراعة. فعلى سبيل المثال، نحن لانعني أنَّ الكون يتمدَّد بالطريقة التي ربَّما يوسّع بها المرء منزله، فلنقل، بتحريك الحائط ووضع حمّام جديد حيث تنتصب شجرة السنديان المهيبة. وبدلًا من ذلك فإنَّ المكان يمدِّد نفسَه، إنَّه المسافة بين أيِّ نقطتين ضمن الكون المتضخِّم. لقد انبثقت تلك الفكرة في أربعينات القرن العشرين وسط جدل كبير، لكنَّ إحدى أفضل طرق تصويرها، لا تزال هي المجاز الذي عبّر عنه في عام 1931 عالم الفلك بجامعة كامبردج أرثر إدنجتون Arthur Eddington. لقد صوَّر إدنجتون الكون كسطحِ بالونٍ يتمدَّد، وكانت كلُّ المجرّات عبارة عن نقاط

على هذا السطح. وتُبيّن هذه الصورة بوضوح لماذا تبتعد المجرات البعيدة عنَّا بسرعة أكبر من المجرَّات القريبة منا. على سبيل المثال، إذا كان نصف قطر البالون يتضاعف كلَّ ساعة، فعندها ستتضاعف المسافة بين أيِّ مجرَّتين على البالون كلَّ ساعة. وفي بعض الأوقات إذا كانت المجرَّتان تبعدُ إحداهما عن الأخرى بمسافة بوصة واحدة. فبعد ساعة ستكون المسافة بينهما بوصتين، وسيبدو كأن كلًّا منهما تتحرَّك بالنسبة للأخرى بسرعة بوصة واحدة في الساعة. لكن إذا بدأت المجرَّتين على بُعد بوصتين فيما بينهما، فبعد ساعة ستكونان على بعد أربع بوصات وسيظهر أنَّهما تتحركان مبتعدتين إحداهما عن الأخرى بسرعة بوصتين في الساعة. هذا هو بالضبط ما وجده هابل: كلّما ابتعدت المجرة، كانت أسرع في حركتها المبتعدة عنَّا.

من المهم إدراك أنَّ تمدّدَ الفضاء لا يُؤثّر على حجم الأشياء المادية مثل المجرّات والنجوم والتفاح والذرات أو أيّ أشياء مرتبطة ببعضها بعضًا بنوعٍ ما من القوّة. على سبيل المثال، إذا طوّقنا عنقود مجرّات بدائرة على بالون، فإنّ تلك الدائرة لن تتمدَّد مع تمدُّد البالون. وبدلاً من ذلك، لأنَّ المجرَّات مرتبطة بقوى الجاذبية، فإنَّ الدائرة والمجرّات التي بداخلها ستحتفظ بحجمها وهيئتها أثناء تمدّد البالون. هذا مهمٌّ لأنَّه سيمكننا ملاحظة التمدّد فقط إن كانت أدوات قياسنا لها حجم ثابت. فإذا كان كلُّ شيء يتمدّد بشكل خُرافيّ، فنحن، ومن ثَم عصيُّ الياردات yardsticks التي نستخدمها، ومعاملنا، وما إلى ذلك.. سوف تتمدَّد جميعها بتناسب ولن نلحظ أيَّ اختلاف.

كان تمدُّد الكون خبرًا بالنسبة لـ آينشتاين. مع أن احتمالية كون المجرات تبتعد عن بعضها قد تمَّ افتراضها قبل سنوات قليلة من أبحاث هابل بناء على نظرية اشتُقَّت من معادلات آينشتاين ذاته. ففي عام 1922، قام الرياضي والفيزيائي الروسي ألكسندر فريدمان Alexander Friedmann بفحص ما سيحدث في نموذج كون يقوم على فرضين يبسّطان الرياضيات إلى حدٍّ كبير: أن يبدوَ الكون متماثلًا في كلِّ الاتِّجاهات، وأنَّ يبدو بهذه الطريقة من كلِّ نقطة ملاحظة. نحن نعرف أنَّ فرض فريدمان الأوّلَ ليس صحيحًا بالضبط ـ فالكون لحُسن الحَظِّ ليس منتظمًا في كلِّ مكان! فقد نرى الشمس إذا حدَّقنا للأعلى في اتِّجاه واحد، وفي الاتِّجاه الآخر قد نرى القمر أو مستعمرةً من الوطاويط المهاجرة مصّاصةَ

الدماء. لكنَّ الكون يظهر بشكل عامٍّ هو نفسه في كلّ اتِّجاه عندما يُرى على مقياس أكبر جدًّا ـ أكبر حتَّى من المسافة بين المجرّات. إنَّه أمرٌ يشبه النظر إلى الغابة. فإذا كنت قريبًا بما يكفي، يمكنك أن ترى أوراق الأشجار المفردة أو على الأقلِّ الأشجار والمساحات التي بينها. لكن إذا كنت مرتفعًا جدًّا وبسطت إبهامك فسيمكنك أن تغطِّي ميلًا مربَّعًا من الأشجار، وستظهر الغابة كظلٍّ متَّسق من اللون الأخضر. ويمكننا القول عندئذٍ، إنَّ الغابة متماثلة على هذا المقياس.

كان فريدمان قادرًا وفقًا لافتراضاته على اكتشاف حلِّ معادلات آينشتاين التي يتمدَّد فيها الكون، بالطريقة التي سيكتشف هابل قريبًا أنَّها صحيحة. وبشكل خاصّ، فقد بدأ نموذج فريدمان عن الكون من الحجم صفر الذي تمدَّد إلى أن أبطأه الشدُّ الجذبوي، وأخيرًا سيتسبّب في انهياره على نفسه. (هناك، كما انتهى الأمر، نوعان آخران من الحلول لمعادلات آينشتاين التي تفي بافتراضات نموذج فريدمان، تخصُّ إحداها كونًا يستمرُّ في التمدّد للأبد، مع أنّه يتباطأ قليلًا، والنموذج الآخر لكَونٍ يتباطأ معدّلُ تمدُّده نحو الصفر، لكنَّه لا يصل إليه أبدًا). لقد مات فريدمان بعد عدِّة سنواتٍ من إنجاز هذا العمل، وظلَّت أفكاره غير معروفة بشكل كبير حتَّى بعد اكتشاف هابل. لكن في عام 1927 فإنَّ أستاذ الفيزياء وقَسّ كنيسة روما الكاثوليكية جورجي ليماتر Georges Lemaître قد افترض فكرةً مشابهة: إذا تتبَّعت تاريخ الكون رجوعًا للماضي، فسيكون الكون أصغر وأصغر حتَّى يصل إلى حدث الخلق ـ والذي نسمِّيه الآن بالانفجار الكبير.

لا تطيب صورة الانفجار الكبير لكلّ واحدٍ مِنَّا. وفي الواقع، تمَّت صياغة مصطلح "الانفجار العظيم" في عام 1949 من قبل عالم فيزياء

الفضاء في كامبردج فريد هويل Fred Hoyle، الذي كان يعتقد في كونٍ يتمدَّد للأبد، وقد استخدم هذا المصطلح كوصفٍ ساخر. ولم تأتِ الملاحظات المباشرة الأولى التي تدعم تلك الفكرة حتَّى عام 1965، مع اكتشاف أنَّ هناك خلفيةً خافتةً من الموجات الكهرومغناطيسية قصيرة المدى في كلِّ أنحاء الكون. إنَّه إشعاع موجات الخلفية الكونية قصيرة المدى CMBR الذي يشبه تلك التي توجد في فرن الميكروويف، لكنَّها أقلَّ قوّة بكثير. يمكنك ملاحظة إشعاع موجات الخلفية الكونية قصيرة المدى بنفسك إذا أدرت جهاز التليفزيون على قناة غير مستخدمة، فالمقدار القليل من الندف البيضاء المشوّشة على الشاشة ستكون بسببها. لقد اكتشف هذا الإشعاع مصادفةً بواسطة عالمين من معامل بيل Bell Labs كانا يحاولان التخلُّص من هذا التشوُّش من هوائي الموجات قصيرة المدى الخاصّ بهما. لقد اعتقدا في البداية أنَّ هذا التشوُّش قد يكون بسبب مخلّفات الحمام الذي كان يعشّش في الجهاز، لكنهم توصلوا إلى أن أصل مشكلتِهم كان أكثر إثارة ـ فإشعاع موجات الخلفية الكونية قصيرة المدى هو الإشعاع الذي تبقَّى من الكون الابتدائي الكثيف جدًّا والساخن جدًّا، والذي ربَّما يكون قد وجد بعد الانفجار الكبير بفترة قصيرة. ومع تمدُّد الكون، راح يبرد حتَّى أصبح الإشعاع مُجرَّد تلك البقية الخافتة التي نلاحظها الآن. وفي الوقت الحالي يمكن لتلك الأشعة قصيرة المدى أن تسخِّن غذاءك فقط حتَّى درجة ناقص 270 درجة مئوية أو 3 درجات فوق الصفر المطلق، وهي لا تفيد أبدًا في عمل الفشار.

لقد وجد علماء الفضاء بصماتٍ أخرى أيضًا تدعم تصوُّر الانفجار الكبير عن كون مبكّر ساخن وصغير الحجم جدًّا. فعلى سبيل المثال،

خلال الدقيقة الأولى أو نحو ذلك، كان الكون أسخنَ من مركز نجم نموذجيٍ، وأثناء هذه الفترة كان الكون كلُّه يعمل كمفاعل دمج نوويٍ. وقد توقّفت هذه التفاعلات عندما تمدَّد الكون وبرد بدرجة كافية. لكنَّ النظرية تتنبَّأ بضرورة أن يكون الكون مكوَّنًا من الهيدروجين بشكل أساسي، ومن حوالَيِ 23 في المئة من هيليوم أيضًا والقليل جدًّا من الليثيوم (بعد ذلك تشكّلت كلُّ العناصر الأثقل داخل النجوم). والحسابات تتوافق تمامًا مع كمِّيات الهيليوم، والهيدروجين والليثيوم التي نلاحظها.

إنَّ قياسات الهيليوم وإشعاع موجات الخلفية الكونية قصيرة المدى يعطينا دليلًا مقنعًا لصالح تصوّر الانفجار الكبير للكون المكّبر جدًّا، لكن مع أنَّ المرء يمكنه التفكير في صورة الانفجار الكبير كوصف يصلح للأزمنة المبكرة، فمن الخطأ أخذ الانفجار الكبير بشكل حرفي، كما أنَّه لا يجب التفكير في نظرية آينشتاين باعتبارها تعطينا الصورة الحقيقية عن نشأة الكون. وذلك لأنّ النسبية العامَّة تتنبَّأ بوجود نقطة في الزمن تكون فيها درجة الحرارة وكثافة وانحناء الكون لانهائيين، في حالة تسمَّى رياضيًّا بالمفردة. وبالنسبة لعالم الفيزياء فإنَّ هذا يعني أنَّ نظرية آينشتاين تتحطّم عند تلك النقطة ولهذا لا يمكن استخدامها للتنبؤ بالكيفية التي بدأ بها الكون، ولكن فقط بطريقة تطوّره فيما بعد. لذلك فمع أنَّه يمكننا توظيف معادلات النسبية العامّة وملاحظاتنا عن السماوات لنعرف عن الكون في عمر مبكر جدًّا، فليس من الصواب حمل صورة الانفجار الكبير طوال طريق العودة حتَّى البداية.

سنأتي لموضوع نشأة الكون بعد فترة وجيزة، لكن لا بُدَّ من قول كلمات قليلة في البداية عن مرحلة التمدُّد الأولى، والتي يُسمِّيها

العلماء بالتضخُّم. إذا لم تكن تعيش في زيمبابوي، حيث وصل معدّل تضخُّم العملة حديثًا إلى 200,000,000 في المئة، فإنَّ هذا المصطلح قد لايبدو متفجِّرًا جدًّا. لكن وفقًا للتقديرات المحافظة حتَّى، فإنّ الكون قد تمدَّد بمعدّل 1,000,000,000,000,000,000,000,000,0 00 في 0,000000000000000000000000000000001 من الثانية أثناء هذا التمدُّد الكوني، كما لو أنَّ عملة قطرها سنتيمتر واحد قد تضخَّمت بعرض مجرّة التبّانة عشرة مليون مرّة. سيبدو هذا انتهاكا للنسبية التي توجب عدم تحرك أيّ شيء بأسرع من الضوء، لكنَّ هذا الحدَّ للسرعة لا ينطبق على تمدُّد المكان نفسه.

إنَّ فكرة حدوث هذه الحقبة من التضخُّم قد طُرحت لأول مرّة في عام 1980، بناء على اعتبارات تذهب إلى ما وراء نظرية النسبية العامة لـ آينشتاين وتضع في الاعتبار مظاهر نظرية الكمّ. ولأننا لا نمتلك نظرية كاملة للكمِّ عن الجاذبية، فلا يزال العمل جاريًا على التفاصيل، وعلماء الفيزياء غير متأكِّدين تمامًا من كيفية حدوث التضخُّم. لكن طبقًا للنظرية، فإنَّ التمدُّد الذي سبَّبه التضخُّم لم يكن متَّسقًا بشكل كامل، كما تنبَّأت الصورة التقليدية للانفجار الكبير. لأنَّ عدم الانتظام هذا سينتج تفاوتات طفيفة في درجة حرارة إشعاع موجات الخلفية الكونية قصيرة المدى في الاتِّجاهات المختلفة. كانت هذه التفاوتات صغيرة جدًّا بحيث إنَّها لم تكن ملحوظة في ستينيات القرن العشرين، لكنَّها اكتشفت لأوّل مرّة في عام 1992 بالقمر الصناعي الخاصّ بناسا NASA's COBE، وقد تمَّ قياسُها في ما بعد بتوابع هذا القمر، كالقمر الصناعي WMAP، الذي أطلق في عام 2001. ونتيجة لذلك نحن واثقون من أنَّ التضخُّم قد حدث فعليًّا.

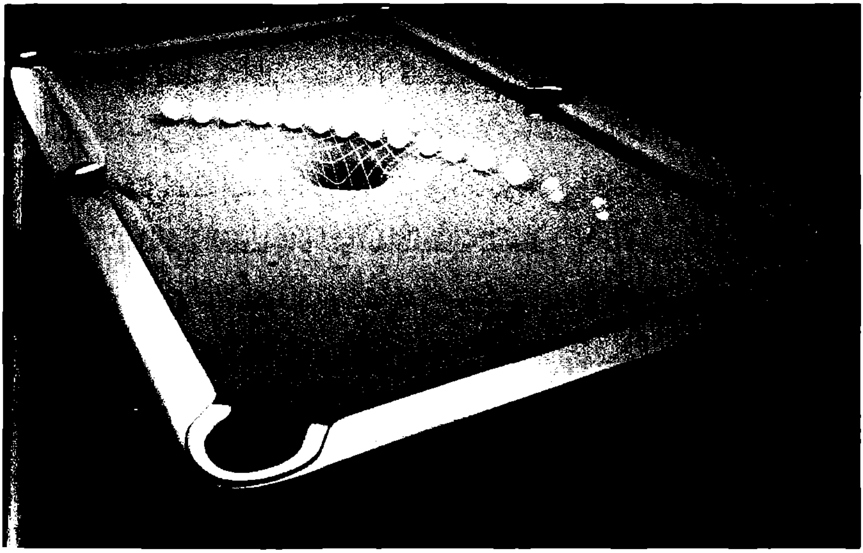
ومن الغريب أنَّه مع أنَّ تفاوتات إشعاع موجات الخلفية الكونية قصيرة المدى تعدُّ دليلاً على التضخُّم، فإنَّ السبب الذي يجعل مفهوم التضخُّم مُهمًّا هو هذا الاتساق التامّ تقريبًا في درجة حرارة إشعاع موجات الخلفية الكونية قصيرة المدى. إذا جعلت درجة حرارة جزء من شيء أسخن ممَّا حوله ثم انتظرت، فإنَّ البقعة الساخنة ستصبح أبرد وما يحيطها سيصبح أدفأ حتَّى تصبح درجة حرارة هذا الشيء متَّسقة. وبالمثل، يمكن للمرء أن يتوقَّع أن يكون للكون في النهاية درجة حرارة متَّسقة. لكنَّ تلك العملية ستستغرق وقتًا، وإذا لم يحدث التضخُّم، فلن يكون هناك وقت كافٍ في تاريخ الكون لكي تتساوى درجة الحرارة في المناطق البعيدة جدًّا عن بعضها بعضًا. وبافتراض أنَّ سرعة نقل تلك الحرارة تكون محدودة بسرعة الضوء، فإنَّ فترة من التمدُّد السريع جدًّا (أسرع من سرعة الضوء) ستعالج ذلك لأنَّه سيكون هناك وقت كافٍ ليحدث التعادل في الكون المبكّر بالغ الصغر قبل مرحلة التضخُّم.

إنّ التضخُّم يفسّر فرقعة الانفجار الكبير، على الأقلّ بمعنى أنَّ التمدُّد الذي يمثّله أكثر تطرُّفًا بكثير من التمدُّد الذي تتنبَّأ به نظرية النسبية العامَّة التقليدية عن الانفجار الكبير أثناء الفترة الزمنية التي يحدث فيها التضخُّم. والمشكلة هي أنَّه لكي تعمل نماذجنا النظرية عن التضخُّم، فإنَّه يجب ضبط الحالة الابتدائية للكون بطريقة خاصّة جدًّا وبعيدة الاحتمال جدًّا. لذلك فإنَّ نظرية التضخُّم التقليدية تحلّ مجموعة واحدة من المسائل لكنّها تخلق مجموعة أخرى ـ وهي الحاجة لوجود حالة ابتدائية خاصّة جدًّا. إنَّ مسألة الزمن ـ صفر تمّ التخلّصُ منها في نظرية خلق الكون التي نحن على وشك أن نشرحها.

حيث إنَّه لا يمكننا وصف الخلق باستخدام نظرية آينشتاين عن

النسبية العامَّة إذا أردنا وصف نشأة الكون، فإنَّ النسبية العامة يجب استبدالها بنظرية أكثر اكتمالًا. قد يتوقَّع المرء الحاجة لنظرية أكثر اكتمالًا حتَّى لو لم تنهر النسبية العامّة، لأنَّ النسبية العامَّة لا تأخذ في اعتبارها تركيب المادّة على المستوى الدقيق الذي تحكمه نظرية الكمِّ. وقد أشرنا في الفصل الرابع أنَّه بالنسبة لمعظم الأغراض العملية فإنَّ نظرية الكمِّ لا تمتُّ بصلة وثيقة لدراسة تركيب الكون على المستوى الكبير، لأنَّ نظرية الكمِّ تنطبق على وصف الطبيعة على المقياس الميكروسكوبي. لكن إذا رجعنا في الماضي بما يكفي، كان الكون صغيرًا جدًّا بحجم بلانك Planck size، أي جزء من مليار ترليون ترليون من السنتيمتر، وهو المقياس الذي توضع عنده نظرية الكمِّ في الحسبان. لذلك، بالرغم من أنَّنا حتَّى الآن لا نمتلك نظرية كَمٍّ كاملة عن الجاذبية، فإنَّنا نعرف أنَّ نشأة الكون كانت حدثًا كموميًّا. ونتيجة لذلك، فكما أنَّنا قد مزجنا نظرية الكمِّ مع النسبية العامّة، على الأقلّ بشكل مؤقّت، لاستنباط نظرية التضخُّم، فإنَّنا لو أردنا العودة بعيدًا جدًّا للوراء لفهم نشأة الكون، فسيتوجب علينا أيضًا مزج ما نعرفه عن النسبية العامَّة مع نظرية الكمِّ.

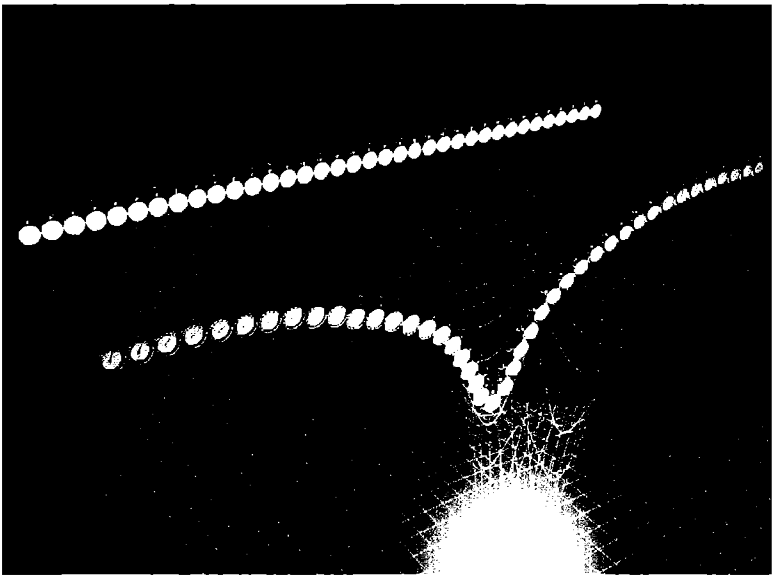
لكي نرى كيف يتمُّ ذلك، سنحتاج لفهم مبدأ عمل الجاذبية على اعوجاج المكان والزمان. يسهل تصوير اعوجاج المكان عن اعوجاج الزمان. تخيّل أنَّ الكون هو سطح طاولة بلياردو مسطَّحة. سيكون سطح الطاولة مكانًا مستويًا، له بُعدان على الأقلِّ. إذا دحرجنا كرة على الطاولة فإنها ستتحرَّك في خطٍّ مستقيم. لكن لو أصبحت الطاولة معوجّة أو بها تجويف في مواضعَ ما، كما هو مبيَّنٌ في الرسم التوضيحي، فستأخذ الكرة عندئذٍ مسارًا مقوَّسًا.



اعوجاج المكان: تعمل المادّة والطاقة على اعوجاج المكان وتعديل مسارات الأشياء

من السهل توضيحُ اعوجاج طاولة البلياردو في هذا المثال حيث إنَّها مقوَّسة إلى البُعد الثالث الذي يمكننا رؤيته. ولأنَّنا لا نستطيع أن نخطوَ خارج الزمكان الخاصِّ بنا لرؤية اعوجاجه، فإنَّ اعوجاج الزمكان في كوننا يصعب تخيُّله. لكنَّ يمكن كشف الانحناء حتَّى لو لم تستطع أن تخطو للخارج لرؤيته من منظور الفضاء الكبير، ويمكن كشفه من داخل المكان نفسه. تخيّل نملةً دقيقةً مسجونة على سطح الطاولة، فحتَّى من دون القدرة على مغادرة الطاولة، سيكون بمقدور النملة اكتشاف الاعوجاج برسم خريطة دقيقة للمسافات. فمثلًا المسافة حول الدائرة في مكان مُستوٍ تكون أكبر قليلًا من ثلاثة أضعاف المسافة عبر قطرها (حاصل الضرب الفعلي هو π). لكن إذا قطعت النملة المسافة عبر الدائرة التي تطوق الحفرة الموجودة في الطاولة كما في الصورة السابقة، فستجد أنَّ المسافة عبرها أكبر ممَّا

نوقَّعت، أكبر من ثلث المساحة التي حولها. في الواقع، إذا كانت الحفرة عميقة بما يكفي، فسوف تجد النملة أنَّ المسافة حول الدائرة أقصر من المسافة عبرها. الشيء نفسه صحيح بالنسبة لاعوجاج كوننا - فإنَّه يمطّ أو يضغط المسافة بين نقاط الفضاء، مُغيّرًا هندستَه أو شكله بطريقة يمكن قياسها من داخل الكون. واعوجاج الزمن يمطُّ أو يضغط الفترات الزمنية بطريقة مشابهة.



اعوجاج الزمكان: تعمل المادّة والطاقة على اعوجاج الزمن ويتسببان في "مزج" أبعاد الزمن مع أبعاد المكان

لنعود ونحن مسلّحون بتلك الأفكار إلى موضوع بداية الكون، حيث يمكننا التحدُّث بشكل منفصل عن المكان والزمان، كما فعلنا في تلك المناقشة في الحالات التي تتضمّن السرعات المنخفضة والجاذبية الضعيفة. مع ذلك، يمكن أن يتشابك المكان والزمان بشكل عام، ويمكن بالتالي أن يشمل مطّهما وضغطهما أيضًا مقدارًا مُعيّنًا من

المزج، هذا المزج مهمّ في الكون المُبكّر وهو مفتاح فهم بداية الزمن.

إنَّ موضوع بداية الزمن يشبه قليلًا موضوع حافّة العالم. عندما اعتقد الناس أنَّ العالم مسطَّح، كان المرء يتساءل إن كان البحر ينسكب عند حافَّته، وقد تمَّ اختبار ذلك تجريبيًّا: حيث يمكن للمرء أن يذهب حول العالم ولا يسقط. وقد حُلَّت مشكلة ما يحدث عند حافَّة العالم عندما أدرك الناس أنَّ العالم لم يكن صفحة مستوية بل سطحًا منحنيًا. ومع ذلك، فإنَّ الزمن يبدو كنموذج لمسار السكة الحديد، إذا كانت له بداية، فلا بُدَّ أن يكون هناك كائن (كإله مثلًا) يقوم بضبط القطارات الذاهبة. وبالرغم من أنَّ النسبية العامَّة لـ آينشتاين قد وحَّدت الزمن والمكان في الزمكان وتضمَّنت مزجًا معيّنًا للزمن والمكان، فإنَّ الزمن لا يزال مختلفًا عن المكان، فإمَّا أن تكون له بداية ونهاية، أو يكون شيئًا آخر يمضي إلى الأبد. مع ذلك، بمجرّد إضافة تأثيرات نظرية الكمّ للنظرية النسبية، فإنَّ حالات الاعوجاج القصوى يمكنها الحدوث إلى مدى بعيد بحيث إنَّ الزمن يتصرَّف كأبعاد المكان الأخرى.

في الكون المُبكّر ـ عندما كان الكون صغيرًا بما يكفي لتحْكُمَه كلٌّ من النسبية العامّة ونظرية الكمِّ ـ كان هناك فعليًّا أربعة أبعاد للمكان ولا واحد للزمن. وهذا يعني أنَّنا عندما نتكلَّم عن "بداية" الكون، نتجنَّب الموضوع المُبهم وهو أنَّنا عند النظر للخلف باتِّجاه الكون المُبكّر جدًّا، فإنَّ الزمن كما نعرفه لم يكن موجودًا! ويجب علينا تقبُّل أنَّ أفكارنا المعتادة عن الزمن والمكان لا تنطبق على الكون المبكر جدًّا. إنَّ ذلك خارج خبرتنا، لكنَّه ليس خارج تخيُّلنا أو حساباتنا الرياضية. فإذا كانت كلُّ الأبعاد الأربعة تتصرَّف في الكون المُبكّر مثل المكان، فماذا حدث لبداية الزمن؟

إنَّ إدراك أنَّ الزمن يتصرَّف كاتِّجاه آخرَ للمكان يعني أنَّ المرء

يمكنه التخلُّص من مشكلة أنَّ الزمن له بداية، بالطريقة المشابهة نفسها التي تخلّصنا بها من حافّة العالم. افترض أنَّ بداية الكون كانت مثل القطب الجنوبي للأرض، حيث تلعب خطوط العرض دور الزمن. فكلّما اتَّجه شخصٌ شمالاً، فإنَّ دوائر العرض الثابتة التي تمثّل حجم الكون ستتمدَّد. سيبدأ الكون كنقطةٍ على القطب الجنوبي، لكنَّ القطب الجنوبي سيشبه تمامًا أيَّ نقطةٍ أخرى. وأن نسألَ ماذا حدث قبل بداية الكون سيصبح سؤالًا بلا معنى، لأنَّه لا يوجد شيء جنوب القطب الجنوبي. في هذه الصورة فإنَّ الزمكان ليس له حدود ـ ستبقى قوانين الطبيعة نفسها عند القطب الجنوبي كما في أماكن أخرى. وبطريقة مماثلة، عندما يدمج المرء النظرية العامّة للنسبية مع نظرية الكمّ، سيصير السؤالُ عمّا حدث قبل بداية الكون بلا معنى. إنَّ تلك الفكرة بأنَّ التواريخ يجب أن تكون مقفولة الأسطح دون حدود تسمَّى حالة اللاحدود.

على مدار قرون فإنَّ الكثيرين، ومنهم أرسطو، اعتقدوا أنَّ الكون يجب أن يكون موجودًا دائمًا ليتجنَّبوا موضوع كيف تمَّ إنشاؤه. وقد اعتقد آخرون أنَّ للكون بدايةً واستخدموا ذلك كحُجّة على وجود الله. إنَّ إدراك أنَّ الزمن يتصرّف مثل المكان يقدّم بديلًا جديدًا، فهو يزيل الاعتراض القديم بأنَّ للكون بدايةً، لكنَّه يعني أيضًا أنَّ بدايةَ الكون كانت محكومةً بقوانين العلم وأن الكون ليس بحاجة للانطلاق بمعرفة إله ما.

إذا كانت بداية الكون حدثًا كمُوميًّا، فيجب أن توصف بدقّة بواسطة محصّلة فاينمان عبر التواريخ. كما أن تطبيق نظرية الكمِّ على مجمل الكون ـ حيث الملاحظون جزء من النظام الخاضع

للملاحظة ـ سيتطلَّب الحذر مع ذلك. لقد رأينا في الفصل الرابع كيف أنَّ جسيماتِ المادّة التي يتمُّ إطلاقُها على شاشة ذات فتحتين قد تظهر شكل تداخل كما تفعل موجات الماء. وقد أوضح فاينمان أنَّ هذا يحدث لأنَّ الجسيم ليس له تاريخٌ استثنائي. بما يعني أنَّه أثناء تحرُّكه من نقطة البداية (أ) إلى نقطة النهاية (ب)، فإنَّه لا يتَّخذ مسارًا واحدًا محدّدًا، وبدلًا من ذلك فإنَّه يتخذ بالتزامن كلّ مسار يُحتمل أن يصل بين هاتين النقطتين. من وجهة النظر تلك، فإنَّ التداخُل لا يثيرُ الدهشة، لأنَّ الجسيم على سبيل المثال يمكنه الانتقال خلال كلتا الفتحتين في الوقت نفسه وأن يتداخل مع نفسه. وبتطبيق طريقة فاينمان على حركة الجسيم، فإنَّها ستخبرنا بأنَّه لكي نحسب احتمالية أيّ نقطة نهاية خاصّة، فإنَّنا بحاجة لأن نضع في اعتبارنا كلَّ التواريخ الممكنة التي قد يتبعها الجسيم من نقطة بدايته إلى نقطة النهاية تلك. ويستطيع المرء أيضًا أن يستخدم طرق فاينمان لحساب الاحتمالات الكمومية للملاحظات التي تجري للكون. وإذا طبقت على الكون ككلٍّ فلن تكون هناك نقطة (أ)، لذلك فنحن نضيف كلَّ التواريخ التي تفي بحالة اللاحدود، لننتهي إلى هذا الكون الذي نلاحظه اليوم.

من وجهة النظر تلك، سيظهر الكون على أنَّه قد انطلق تلقائيًّا بكلِّ الطرق المحتملة، وأغلب هذه الطرق تخصُّ أكوانًا أخرى. وبينما بعض تلك الأكوان شبيهةٌ بكوننا، فإن بعضها الآخر مختلف تمامًا. إنَّها لا تختلفُ في التفاصيل فقط، مثلًا سواء كان إلفيس بريسلي قد مات صغيرًا بالفعل أو إن كان اللفت نباتًا صحراويًا، لكن بدلًا من ذلك فإنَّها تختلف حتَّى في قوانينها الظاهرية عن الطبيعة. في الواقع، يوجد العديد من الأكوان بعدد من مجموعات القوانين الفيزيائية المختلفة.

ينظر بعض الناس لتلك الفكرة بغموض ويطلقون عليها مفهوم متعدّد الأكوان، لكنَّها تعبيرات مختلفة فقط لمحصِّلة فاينمان عبر التواريخ.

لتصوير ذلك، دعنا ندخل تعديلًا على تجانس بالون إدنجتون وبدلًا من ذلك فلنفكِّر في الكون المتمدّد كسطح فقّاعة. إنَّ صورتنا عن الخلق الكمومي التلقائي للكون ستشبه قليلًا تكوين فقّاعات البخار في الماء المغليّ، حيث تظهر عدّة فقّاعات صغيرة جدًا ثم تختفي عندئذٍ مرّة ثانية. وتمثّل تلك الفقّاعات أكوانًا دقيقة تتمدَّد لكنَّها تنهار مرّة ثانية بينما لا يزال حجمها ميكروسكوبيًا. إنَّها تمثّل أكوانًا بديلة ممكنة، لكنَّها ليست مُثيرة جدًّا لأنَّها لا تبقى لمدّة طويلة كافية لتطوير المجرَّات والنجوم، دعك من الحياة الذكية. إلَّا أنَّ قليلًا من تلك الفقَّاعات الصغيرة سوف تكبر بدرجة كافية، لذا ستكون بمأمن من الانهيار. وسوف تستمرُّ في التمدُّد بمعدل متزايد دومًا وسوف تُكوِّن فقّاعة بخار نستطيع رؤيتها. إنَّ هذا يخصُّ الأكوان التي تنطلق متمدّدة بمعدل متزايد دومًا ـ بكلماتٍ أخرى، أكوان في حالة تضخُّم.

كما قلنا، التمدُّد الذي يسبّبه التضخُّم لن يكون متّسقًا تمامًا. ففي مُحصّلة عبر التواريخ، هناك فقط تاريخ واحد متّسقٌ بشكل كامل ومنتظم، وهو الذي ستكون له الاحتمالية الأكبر، لكنَّ العديد من التواريخ الأخرى غير المنتظمة بشكل طفيف جدًّا ستكون لها احتمالات عالية غالبًا. وهذا هو السبب في أنَّ التضخُّم يتنبَّأ بأنَّ يكون الكون المُبكّر على الأرجح غير مُتَّسق بشكل طفيف، فيما يخصُّ التفاوتات الضئيلة في درجة الحرارة الملحوظة في إشعاع موجات الخلفية الكونية قصيرة المدى. إنَّ مظاهر عدم الانتظام في الكون المُبكّر كانت من حظِّنا.. لماذا؟ لأنَّ التجانسية شيء جيّد إن كنت لا تريدُ فصل القشدة عن اللبن، لكنَّ الكون المُتسق هو

كونٌ مُملّ. إنَّ مظاهر عدم الانتظام في الكون المُبكّر مُهمّة لأنَّه إذا كانت بعض الأماكن عالية الكثافة بشكل طفيف عن الأخرى، فإنَّ شدَّ الجاذبية من المنطقة زائدة الكثافة سوف يبطئ من تمدّد تلك المنطقة بالمقارنة بالمناطق المحيطة بها. وبينما تقوم قوّة الجاذبية بسحب المادّة معًا ببطء سيمكن في النهاية أن يتسبّب انهيارها في تكوين المجرّات والنجوم، ممَّا قد يفضي لتكوين الكواكب والبشر في حالة واحدة على الأقلّ. لذلك انظر بدقّة للخريطة السماوية للموجات الكهرومغناطيسية قصيرة المدى إنَّها بصمة لكلّ تركيب الكون. فنحن نتاج تقلّبات الكمّ في الكون المُبكّر جدًّا. وإذا كان المرء مؤمنًا، فيمكنه القول بحقٍّ إنَّ الإله يلعب بالنرد.

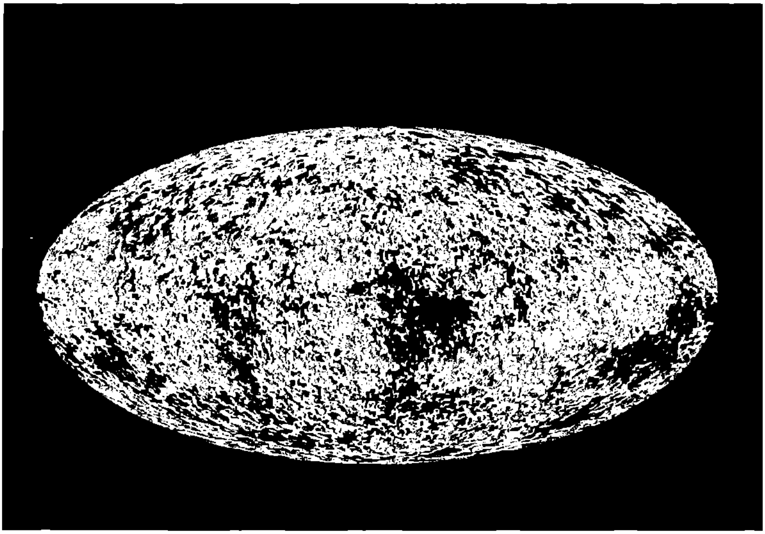


متعدّد الأكوان: تؤدّي تقلّبات الكمّ إلى خلق أكوان دقيقة من لا شيء. القليل منها يصل إلى حجم حرج، ومن ثم يتمدّد بطريقة تضخّمية، مكوّنًا مجرّاتٍ ونجومًا، وفي حالة واحدة على الأقلّ، كائنات مثلنا

لقد أدّت هذه الفكرة إلى رؤية للكون تختلف تمامًا عن المفهوم

التقليدي، ممَّا يتطلَّب منَّا ضبط الطريقة التي نفكِّر بها عن تاريخ الكون. فلكي نقوم بتنبُّؤات في علم الكون، سنحتاج لحساب احتمالات الحالات المختلفة لمجمل الكون في الوقت الحاضر. وفي الفيزياء قد يقوم المرء بشكل طبيعيٍّ بافتراض حالة ابتدائية للنظام ويقوم بتطويرها في الزمن للأمام، مُستخدِمًا المعادلات الرياضية ذات الصلة. وبفرض حالة النظام في مرَّة واحدة، يحاول المرء أن يحسب الاحتمالات التي سيكون عليها النظام في بعض الحالات المختلفة في وقت متأخِّر. إنَّ الافتراض العادي في علم الكون هو أنَّ الكون له تاريخ واحدٌ محدَّد. ويمكن للمرء أن يستخدم قوانين الفيزياء لحساب كيف تطوَّر هذا التاريخ بمرور الوقت. نحن نسمِّي تلك المقاربة الكونية "من أسفل لأعلى". لكن لأنَّه يجب علينا أن نأخذ في اعتبارنا الطبيعة الكمومية للكون كما تعبّر عنها محصلة فاينمان عبر التواريخ، فإنَّ مقدار احتمالية أنَّ الكون في حالة خاصّة الآن، قد تمَّ الوصول إليها بإضافة الإسهامات من كلِّ التواريخ التي تتماشى مع حالة اللاحدود، وتنتهي في الحالة محلّ التساؤل. وبكلمات أخرى، لا يجب على المرء في علم الكون تتبُّع تاريخ الكون من أسفل لأعلى لأنَّ هذا يفترض أنَّ هناك تاريخًا واحدًا، والتطوّر من نقطة بداية مُحدّدة جدًا. بدلًا من ذلك، فإنَّ على المرء أن يتتبّع التواريخ من أعلى لأسفل بالعودة من الزمن الحاضر. ستكون بعض التواريخ محتملة أكثر من الأخرى، وفي المُحصّلة سيسيطر عليها بشكل طبيعيٍّ تاريخٌ واحدٌ وهو الذي يبدأ بخلق الكون، ويبلغ أوْجه في الحالة قيد البحث. لكن سيكون هناك تواريخُ مختلفة لحالات الكون المختلفة والمحتملة في الوقت الحاضر. إنَّ هذا يقودنا إلى رؤية مختلفة جذريًّا لعلم الكونيات، والعلاقة بين السبب والتأثير. فالتواريخ التي تسهم في مُحصّلة فاينمان ليس لها وجود مُستقلّ، لكنَّها

تعتمد على ما تمَّ قياسه. ونحن نخلق التاريخ من خلال ملاحظتنا، بدلاً من أن يكون التاريخ هو الذي يخلقنا.



خلفية الموجات الكهرومغناطيسية قصيرة المدى: نشرت تلك الصورة للسماء في عام 2010 وهي نتاج سبع سنوات من تجميع بيانات مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف الموجات الراديوية WMAP. إنَّها توضح تقلبات درجة الحرارة ـ كما توضحُ تفاوت الألوان ـ التي تعود إلى 13.7 مليار سنة. والتقلبات المصوّرة تطابق اختلافات درجة الحرارة لأقل من واحد على الألف على مقياس درجات الحرارة المئوية. إلَّا أنَّها كانت البذور التي نمت لتكوين المجرّات (بتصريح من فريق NASA /WMAP العلميّ)

إنَّ فكرة أنَّ الكون ليس له تاريخ مميّز لا يعتمد على الملاحظ ربَّما تبدو في تصادم مع بعض الحقائق التي نعرفها. فقد يكون هناك تاريخٌ واحدٌ يكون القمر فيه مصنوعًا من الجبنة الروكفورت. لكنَّنا لاحظنا أنَّ القمر غير مصنوع من الجبنة، وهذا خبر سيِّئ للفئران. ومن ثم فالتواريخ التي يكون فيها القمر مصنوعًا من الجبنة لن تسهم في حال كوننا الحالية، مع أنَّها قد تُسهم في أكوان أخرى. وهو ما يبدو كخيالٍ علميٍّ لكنَّه ليس كذلك.

التطبيق المهمُّ لمقاربة من أعلى لأسفل هو أنَّ قوانين الطبيعة الظاهرية تعتمد على تاريخ الكون. والعديد من العلماء يؤمنون بوجود نظرية واحدة تفسّر تلك القوانين، كما يؤمنون أيضًا بثوابت الطبيعة الفيزيائية. مثل كتلة الإلكترون وأبعاد الزمكان. لكنَّ علمَ الكون من أعلى لأسفل يُوجِب أن تكون قوانين الطبيعة الظاهرية مختلفة باختلاف التواريخ.

بوضع الأبعاد الظاهرية للكون في الاعتبار وفقًا النظرية ـ "إم"، فإنَّ الزمكان له عشرةُ أبعادٍ مكانية وبُعدٌ زمانيٌّ واحد. وفكرة الكون ذو السبعة أبعاد مكانية ومجدولة بشكلٍ دقيق جدًّا لا يمكن ملاحظته، تتركنا في وهم أنَّ كلَّ ما هو موجودٌ هو الثّلاثة أبعاد الكبيرة المتبقية التي نعتادها. وأحد الأسئلة المركزية المفتوحة في النظرية ـ "إم" هو: لماذا لايوجد في كوننا المزيد من الأبعاد الكبيرة، ولماذا تكون أيّة أبعاد مجدولة؟

سيرغب العديد من الناس في تصديق أنَّ هناك بعضَ الآليات التي تسبّب تضفير كلِّ أبعاد المكان ماعدا الأبعاد الثلاثة بشكلٍ تلقائيٍّ. وكشكلٍ بديل، ربَّما تبدأ كلُّ الأبعاد صغيرة، لكن لبعض الأسبابٍ التي يمكن فَهمُها فقد تمدَّدت أبعاد المكان الثلاثة ولم تفعل ذلك البقية. مع ذلك فإنَّه يبدو كما لو أنَّه لا يوجد سبب ديناميكي للكون لكي يظهر رباعيَّ الأبعاد. وبدلًا من هذا، فعلمُ الكون من أعلى لأسفل يتنبَّأ بأنَّ عدد أبعاد المكان الكبيرة ليست محدَّدة بأيِّ مبدأٍ فيزيائيٍّ. سيكون هناك مدى للاحتمالية الكمومية لكلِّ عدد من أبعاد المكان الكبيرة من صفر إلى عشرة. وتسمح مُحصَّلة فاينمان بها جميعها، لكلِّ تاريخ ممكن للكون، لكنَّ الملاحظة بأنَّ كوننا يمتلك ثلاثة أبعاد كبيرة للمكان تنتقي الأنواع

الفرعية التي تمتلك خاصّية كونها ملحوظة. بكلماتٍ أخرى، الاحتمالية الكمومية، بأنَّ الكونَ له أكثر أو أقلّ من ثلاثة أبعاد كبيرة للمكان ليست لها علاقة، لأنَّنا بالفعل قد حدَّدنا أنَّنا في كون له ثلاثة أبعاد كبيرة للمكان. لذلك فطالما أنَّ مدى احتمالية الثلاثة أبعاد الكبيرة للمكان ليس صفرًا بالضبط، فلن يهمّ مقدار صغرها مقارنة بمقدار احتمالية العدد الآخر من الأبعاد. وسيبدو هذا مثل السؤال عن مقدار احتمالية أنَّ البابا الحالي صيني. نحن نعرف الآن أنَّه ألماني، حتَّى مع احتمالية أنَّ كونَه صينيًّا أكبر لأنَّ هناك عددًا من الصينيِّين أكثر من الألمان. بالمثل، نحن نعرف أنَّ كونَنا يظهر بثلاثة أبعاد كبيرة للمكان، وبالتالي فحتَّى مع العدد الآخر من أبعاد المكان الكبيرة التي قد يكون لها مدى احتمالية أكبر، فنحن معنيُّون فقط بالتواريخ التي بها ثلاثة.

ماذا عن الأبعاد المجدولة؟ الأمر يستدعي أنَّه في النظرية ـ "إم" فإنَّ الشكل الدقيق للأبعاد المجدولة المتبقية، المكان الداخلي، يحدّد كلًّا من قيم الكمّيات الفيزيائية كشحنة الإلكترون وطبيعة التفاعلات البينية بين العناصر الأولية، أي قُوى الطبيعة.

قد تعمل الأشياء بعناية لو سمحت النظرية ـ "إم" بشكل واحد فقط من الأبعاد المجدولة، أو ربَّما بعددٍ قليل منها، وقد يتمُّ استبعادها جميعًا ببعض الوسائل إلَّا واحدًا فقط، ممَّا يتركنا باحتمالية واحدة فقط من قوانين الطبيعة الظاهرية. بدلًا من ذلك، هناك مقاديرُ احتماليةٌ ربَّما لأكثر من 10^{500} مكان داخلي مختلف، يؤدِّي كلٌّ منها إلى قوانينَ وقيمٍ للثوابت الفيزيائية المختلفة.

إذا بنى شخص تاريخ الكون من أسفل لأعلى، فلن يكون هناك سببٌ يوجبُ أن ينتهيَ الكون بمكان داخليٍّ للتفاعلات البينية

للجسيمات التي نلاحظها فعليًّا، النموذج القياسي (التفاعلات البينية للجسيمات الأولية). لكنَّنا نتقبَّل في مقاربة من أعلى لأسفل أن يوجد الكون مع كلِّ الأماكن الداخلية الممكنة. في بعض الأكوان إنَّ الإلكترون له وزن كرة جولف وقوّة جاذبية أكبر من المغناطيس. في كوننا ينطبق النموذج القياسي بكلِّ معاييره. ويمكن للمرء أن يحسب مدى الاحتمالية للمكان الداخلي الذي يؤدِّي للنموذج القياسي على أساس حالة اللاحدود. مثلما مع احتمالية أنَّ هناك كونًا بثلاثة أبعادٍ كبيرة للمكان، فلن يهمَّ مدى صغر هذا المقدار بالنسبة للاحتمالات الأخرى لأنَّنا بالفعل نلاحظ أنَّ النموذج القياسي يصف كوننا.

إنَّ النظرية التي وصفناها في هذا الفصل قابلة للاختبار. وفي الأمثلة السابقة شدَّدنا على أنَّ مقادير الاحتمالية النسبية للأكوان المختلفة جذريًّا، مثل تلك التي بأعداد مختلفة لأبعاد المكان الكبيرة ليس مهمًّا. إنَّ مقادير الاحتمالية النسبية للأكوان (الشبيهة) المجاورة، مهمّة مع ذلك. إنَّ حالة اللاحدود تخبرنا بأنَّ مقدار الاحتمالية يكون أكبر للتواريخ التي ينطلق فيها الكون بسلاسة تامّة. ويتناقص المقدار بالنسبة للأكوان غير المنتظمة أكثر. ويعني هذا أنَّ الكون المبكّر يجب أن يكون سلسًا في الغالب، ويمكننا ملاحظة عدم الانتظام هذا كتفاوتات صغيرة في الموجات الكهرومغناطيسية قصيرة المدى الآتية من اتِّجاهات السماء المختلفة. والتي وُجد أنَّها تتوافق بالضبط مع المُتطلَّبات العامَّة لنظرية التضخُّم. مع ذلك، فالقياسات الأكثر دقَّة مطلوبة لتفريق نظرية من أعلى لأسفل عن غيرها، إمَّا لدعمها أو لرفضها. وقد يتمُّ إنجاز ذلك بواسطة الأقمار الصناعية في المستقبل.

لقد اعتقد الناس لعدة مئات من السنين أنَّ الأرض كانت فريدة،

وموضوعة في مركز الكون. ونحن اليوم نعرف أنَّ هناك مئاتِ المليارات من النجوم في مجرَّتنا والنسبة الأكبر منها لها أنظمة كوكبية، وهناك مئات المليارات من المجرَّات. وتشير النتائج التي تمَّ وصفها في هذا الفصل إلى أنَّ كوننا نفسه هو واحد من عدِّة أكوان، وأنَّ قوانينه الظاهرية لم يتمّ تحديدها بشكل متميز. لا بُدَّ أن يكون هذا مخيّبًا لآمال الذين كانوا يأملون أنّ النظرية النهائية، نظريةَ كلِّ شيء، ستتنبَّأ بطبيعة فيزياء الحياة اليومية. نحن لا نستطيع التنبؤ بالملامح المتفرِّقة كعدد أبعاد المكان الكبيرة أو المكان الداخلي الذي يُحدّد الكمّيات الفيزيائية التي نلاحظها (مثل كتلة وشحنة الإلكترون والجسيمات الأوّلية الأخرى). وبدلًا من ذلك، نحن نستخدم تلك الأرقام لنختار أيّة تواريخ تسهم في محصّلة فاينمان.

يبدو أنَّنا، عند نقطة حرجة في تاريخ العلم، يجب علينا أن نبدِّلَ مفهومَنا عن أهداف النظرية الفيزيائية وما الذي يجعلها مقبولة. ويبدو أنَّ الأعداد الأساسية وحتَّى شكل القوانين الظاهرية للطبيعة غير مطلوب بالمنطق أو بالمبدأ الفيزيائي. فالمعايير حرَّة في اتِّخاذ قيم عديدة كما تتّخذ القوانين أيَّ شكل يؤدِّي إلى نظرية رياضية متماسكة ذاتيًا، وقد تأخذ قيمًا وأشكالًا متفاوتة في الأكوان المختلفة. إنَّ هذا قد لا يُرضي رغبتنا البشرية في أن نكون مميّزين أو في اكتشاف حزمة أنيقة تتضمّن كلَّ قوانين الفيزياء، لكن يبدو أنَّ هذا هو طريق الطبيعة.

قد يبدو هناك منظورًا أوسع للأكوان المحتملة. مع ذلك، وكما سنرى في الفصل القادم، فإنَّ الأكوان التي يمكن أن توجد بها حياة مثلنا هي أكوان نادرة. ونحن نعيش في واحد من تلك التي يمكن أن تكون فيها حياة، لكن إذا كان هذا الكون مختلفًا قليلًا فقط، فإنّ

كائناتٍ مثلنا لم تكن لتتمكَّنُ من التواجد. فمَن نحن لنقوم بهذا الضبط الدقيقٍ؟ وهل هذا دليل على أنَّ الكون، وبعد كلِّ شيء، كان مُصمِّمًا بواسطة خالقٍ خيّر؟ أم أنَّ العلم يقدِّم تفسيرًا آخر؟



الفصل السّابع

المُعجزةُ الظاهريّة

يحكي الصينيُّون عن زمن أثناء حكم سلالة هيسا (2205 ـ 1782 ق.م.) أنَّه عندما تغيَّرت بيئة كوننا بشكلٍ مفاجئ، وظهرت عشرات الشموس في السماء، وعانى الناس علًى الأرض بشكل كبير من الحرارة، فقد أمر الإمبراطور أحدَ رُماة السهام المشهورين بإسقاط تلك الشموس الزائدة. وقد كُوفئ هذا الرامي بحبَّةٍ لو تناولها، لصارت له إمكانيةُ الخلود، لكنَّ زوجتَه سرقتها، ونُفِيت بسببٍ هذه الجريمة إلى القمر.

كان الصينيُّون على حقٍّ في التفكير بأنَّ نظامًا شمسيًّا به عشر شموسٍ لن يكون ملائمًا لحياة البشر، ونحن ندرك ذلك اليوم. فأيُّ نظام شمسيٍّ متعدِّد النجوم لن يسمح بتطوُّر الحياة، مع أنَّه قد يُقدِّم فرصة عظيمة لهواة إكساب البشرة لونًا برونزيًّا، وليست الأسباب هي تلك الحرارة الحارقة التي تتخيَّلها الأسطورة الصينية ببساطة. ففي الواقع، يمكن للكوكب أن يتمتَّع بطقس لطيف أثناء دورانه حول عدّة نجوم، لفترة على الأقلِّ. لكنَّ انتظام الحرارة لمدّة طويلة من الزمن، وهو الوضع الذي يبدو ضروريًّا للحياة، سيكون بعيد الاحتمال.

ولفهم السبب، علينا الاطلاع على ما يحدث في أبسط أنواع الأنظمة مُتعدّدة النجوم، وهو النظام ذو الشمسين، الذي يُسمَّى بالنظام الثنائي. إن نصف النجوم الموجودة في السماء تقريبًا تعتبر أعضاء في تلك الأنظمة. لكن حتَّى أبسط تلك الأنظمة الثنائية، يمكنها الحفاظ فقط على نوعية معيّنة من المدارات المستقرّة، مثل النوع الموضح كما يلي. ففي كلٍّ هذه المدارات لا بُدَّ أن يتوفَّر الوقت للكوكب ليكون ساخنًا جدًّا أو باردًا جدًّا من أجل الحفاظ على الحياة. حتَّى إنَّ الوضع يكون أسوأ بالنسبة للمجموعات مُتعدِّدة النجوم.

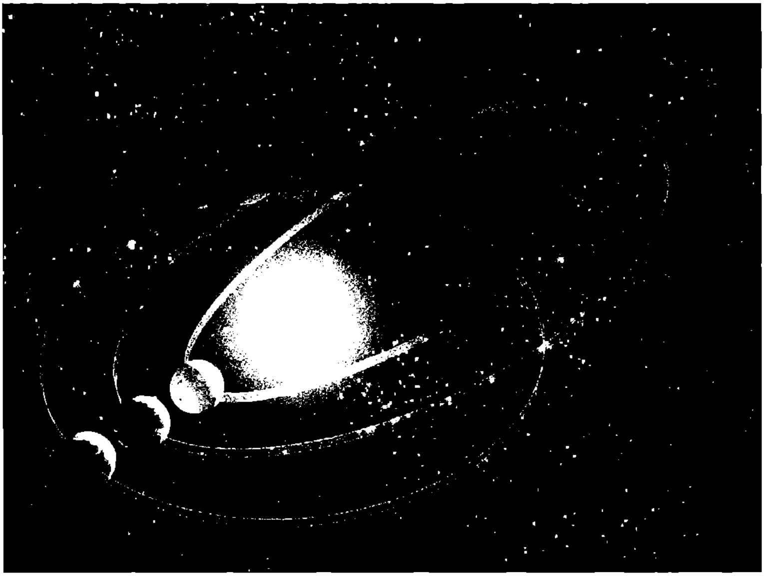
إن نظامَنا الشمسيَّ لديه خصائصُ أخرى "محظوظة" لم يكن من الممكن أن تتطوَّر أشكالُ الحياة المُعقّدة من دونها. فعلى سبيل المثال، تسمح قوانين نيوتن لمدارات الكواكب بأن تكون دائرية أو على هيئة قطْع ناقص *(القطْع الناقص هو دائرة مضغوطة، تكون أوسع عند أحد محاورها وأضيق عند الآخر)*، وتوصف الدرجة التي ينضغط بها القطع الناقص بما يُسمَّى بالتفاوت المركزي، بين الرقم واحد والصفر. ويعني التفاوت المركزي الأقرب من الصفر أنَّ الشكل يمثِّل دائرة، بينما يعني التفاوت المركزي الأقرب من الواحد أنَّه مفلطح جدًّا. كان كبلر منزعجًا من فكرة أنَّ الكواكب لا تدور في دوائر كاملة، فكان التفاوت المركزي لمدار الأرض حوالَي 2٪ فقط، ممَّا يعني أنَّه دائري تقريبًا. وقد صار ذلك كضربة حظٍّ سعيدة جدًّا.

تتحدّدُ أشكال الطقس الموسمية على الأرض أساسًا حسب ميل محور دورانها بالنسبة لمستوى مدارها حول الشمس. فأثناء فصل الشتاء في نصف الكرة الشمالي، على سبيل المثال، يكون القطب

المدارات الثنائية: الكواكب التي تدور في أنظمة ثنائية النجوم سيكون لديها طقسٌ قاس، سيكون في بعض الفصول ساخنًا جدًّا بالنسبة للحياة، وفي الأخرى، سيكون باردًا جدًّا

الشمالي مبتعدًا عن الشمس. وحقيقة قرب الأرض للشمس في هذا الوقت – على بعد 91.5 مليون ميل فقط مقارنة بحوالَي 94.5 مليون ميل من الشمس في أوائل يوليو - سيكون لها تأثير تافهٌ على درجة الحرارة مقارنة بتأثير ميلها. لكن على كواكب لديها تفاوت مركزي مداري كبير، فإنَّ اختلاف المسافة عن الشمس سيلعب دورًا أكبر بكثير. فعلى عطارد مثلًا، وبنسبة 20٪ من التفاوت المركزي، فإنّ درجة الحرارة ستكون أسخن بـ200 درجة فهرنهايت عندما يكون الكوكب أكثر قربًا من الشمس (الحضيض الشمسي) عنه عندما يكون أبعد عن الشمس (الأوج الشمسي). وفي الحقيقة، لو كان التفاوت المركزي لمدار

الأرض قريبًا من الواحد الصحيح، فإنَّ محيطاتِنا ستغلي عندما نصل لأقرب نقطة من الشمس، وستتجمَّد تمامًا عندما نصل لأبعد نقطة الأمر الذي يجعل إجازاتِ الشتاء أو الصيف غير مُمتِعة. إنَّ التفاوتاتِ المركزيةَ المدارية الكبيرة لن تفضيَ للحياة، ولهذا فنحن محظوظون بأن يكون لدينا كوكب يكون تفاوته المركزي أقرب من الصفر.



تفاوتات المراكز: تفاوت المركز هو قياس لمدى اقتراب القطع الناقص من الدائرة المدارات الدائرية مواتية للحياة، بينما المدارات المستطيلة جدًّا تنتج تقلبات فصلية كبيرة في درجة الحرارة

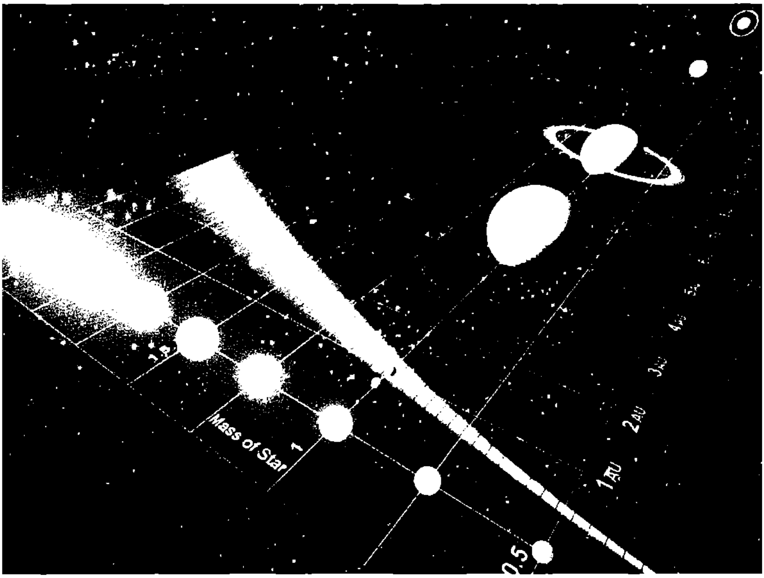
نحن أيضًا محظوظون بالعلاقة بين كتلة شمسنا وبين المسافة التي تبعدنا عنها، وذلك لأنَّ كتلة النجم تحدِّد مقدار الطاقة التي يتخلَّص منها. والنجوم الأكبر لديها كتلة أكبر مئة مرَّة من كتلة شمسنا، بينما النجوم الأصغر لديها كتلة أقلّ بمئة مرّة. إلَّا أنَّه، بافتراض أنَّ المسافة بين الأرض والشمس أمر مسلَّم به، فإذا كانت كتلة شمسنا أقلَّ أو أكثر

من 20 في المئة، فإنَّ الأرض ستكون أبرد من المريخ أو أسخن من الزهرة اليوم.

وبشكل تقليديٍّ مع أيِّ نجم، فإنَّ العلماء يُعرِّفون النطاق القابل للسكنى Goldilocks Zone بأنَّه المنطقة الضيقة التي حول النجم والتي تسمح درجة الحرارة فيها بوجود سائل كالماء. ويُسمَّى النطاق القابل للسكنى أحيانًا "نطاق الحياة"، وذلك لأنَّ متطلّبات وجود الماء السائل تعني أنَّ تطوّر الحياة الذكية يحتاج لأن تكون درجة حرارة الكوكب "مضبوطة جدًّا" كنطاق الحياة. النطاق القابل للسُّكنى في نظامنا الشمسيِّ، كما في الرسم التخطيطي التالي، ضئيل جدًّا، ولحسن حظِّ أمثالنا من أشكال الحياة الذكية، فإنَّ الأرض تقع ضمنه!

لقد اعتقد نيوتن أنَّ قابلية نظامنا الشمسي الغريبة للسكنى "لم تنبثق عن الفوضى في قوانين الطبيعة وحسب" وبدلًا من ذلك، فقد احتفظ بالاعتقاد بأنَّ نظام الكون "قد خلق بواسطة الله أولًا ثم بقي على حاله بمعرفته حتَّى يومنا هذا بنفس الوضعية والظروف" ومن السهل تفهُّم لماذا يفكِّر المرء هكذا. فالحوادث المُتعدِّدة غير المحتملة التي تآمرت لجعل وجودنا ممكنا، وتصميم الكون المواتي للبشر، ستكون محيّرة فعلًا لو كنَّا نحن النظام الشمسيَّ الوحيد في الكون. لكن في عام 1992 جاءت أوّل ملاحظة مؤكّدة بوجود كوكب يدور حول نجم آخر غير شمسِنا. ونحن الآن نعرف المئاتِ من تلك الكواكب، وهناك شكوكٌ بوجود عددٍ آخر لا يُحصى ضمن مليارات النجوم في كوننا. وهذا يجعل وجود مصادفات نظامنا الشمسيِّ ـ الشمس الواحدة، والارتباط سعيد الحظِّ للمسافة بين الأرض والشمس وبين كتلة الشمس ـ أقلّ لفتًا للنظر لحدٍّ بعيد، وأقلّ إقناعًا لإرغامنا بالدليل على أنَّ الأرض قد صمِّمت

بعناية فقط لإرضائنا ككائنات بشرية. فالكواكب موجودة من كلِّ نوع وبعضها ـ واحد على الأقلّ ـ يدعم الحياة. وبشكل واضح، عندما تقو الكائنات على الكوكب الذي يدعم الحياة باختبار العالم من حولها فإنَّها ملزمة باكتشاف أنَّ بيئتَها تُلبِّي الظروف التي يتطلَّبها وجودها.



نطاق الحياة (نطاق صالح للسكن): إذا كانت نطاقات الحياة بأخذ عيّنة من الكواكب، فستجد فقد تلك التي ضمن النطاق المُظلّل مناسبة للحياة. النجم الثاني من اليمين يمثّل شمسنا. النجوم التي علي اليسار أكبر وأسخن، النجم في أقصى اليمين أصغر وأبرد. الكواكب الأقرب لشموسها من النطا المظلل ستكون ساخنة جدًّا للحياة، والكواكب بعد النطاق المظلل ستكون باردة جدًّا. وسيكون حج النطاق المواتي للحياة أصغر بالنسبة للنجوم الأبرد

من الممكن تحويل تلك الجملة الأخيرة إلى مبدأ علميٍّ: إنَّ وجود يفترض القواعد التي تحدّد أين وفي أيٍّ وقتٍ يمكننا ملاحظة الكون بما يعني أنَّ وجودنا يحدّد خصائص نوعية البيئة التي نجد أنفسنا فيها ويُسمّى هذا المبدأ بالمبدأ الأنثروبولوجي الضعيف. (وسوف نرى بعد فترة قصيرة لماذا تضاف الصفة "ضعيف"). المصطلح الأفضل

من "المبدأ الأنثروبولوجي" سيكون "مبدأ الاختيار"، لأنّ المبدأ يشير إلى كيف أنَّ معرفتنا الخاصّة عن وجودنا تفترض قواعد هذا الاختيار، من ضمن كلِّ البيئات الممكنة، فقط تلك البيئات ذات الخصائص التي تسمح بالحياة.

مع أنّه يبدو فلسفيًا إلّا أنَّ المبدأ الأنثروبولوجي الضعيف يمكن أن يستخدم للقيام بالتنبُّؤ العلميِّ، كالسؤال عن عمر الكون على سبيل المثال. وكما سنرى قريبًا فلكي نكون موجودين فإنَّ الكونَ يجب أن يحتويَ على عناصر مثل الكربون، الذي يُنتَج بِطَهوِ العناصر الأخفّ داخل النجوم. ويجب أن يوزّع الكربون بعد ذلك خلال الفضاء في انفجار السوبرنوفا، وفي النهاية يتكثّف كجزء من الكوكب في الجيل الجديد من النظام الشمسي. في عام 1961 جادل الفيزيائي Robert Dicke بأنَّ تلك العملية تستغرق حوالي 10 مليار سنة، ولذلك فإنَّ وجودنا هنا يعني أنَّ الكونَ يجب أن يكون بمثل هذا القدم. من ناحية أخرى، لا يمكن أن يكون الكون أكبر عمرًا من 10 مليارات سنة، لأنَّ كلَّ الوقود النجمي سوف ينفد في المستقبل البعيد، ونحن نحتاج لنجوم ساخنة من أجل بقائنا، ومن ثم يجب أن يكون عمر الكون حوالَي 10 مليار سنة. هذا ليس تنبُّؤًا دقيقًا جدًّا، لكنّه صحيح بحسب البيانات الحالية بأن الانفجار الكبير قد حدث منذ حوالَي 13.7 مليار سنة.

وكما كان الحال مع عُمر الكون، فإنَّ التنبُّؤات الأنثروبولوجية تنتج عادة نطاقًا من القيم للمعايير الفيزيائية المعطاة بدلًا من إبرازها بدقَّة. هذا لأنَّه بينما لا يتطلّب وجودنا مقدارًا محددًّا من بعض المعايير الفيزيائية، فإنَّه يعتمد في الغالب على تلك المعايير التي لا تختلف كثيرًا باختلاف المكان الذي نجدها فيه فعليًا. والأكثر من ذلك فإنّنا نتوقّع أنَّ

الظروف الفعلية في عالمنا تكون مثالية ضمن المدى الأنثروبولوجي المسموح به. على سبيل المثال، لو أنَّ هناك مدارًا له اختلاف مركزيٍّ بسيط، فلنقل بين صفر و0.5 سوف يسمح بوجود حياة، فيجب ألّا يدهشَنا الاختلاف المركزي بقيمة 0.1، لأنَّه ضمن كلّ الكواكب في الكون، فإنَّ نسبة معقولة منها يحتمل أن يكون لديها مدارات باختلاف مركزي بمثل هذا الصغر. لكن إذا انتهى الأمر بأن تتحرَّك الأرض في دائرة شبه تامة وباختلاف مركزي فلنقل 0.00000000001، فإنَّ هذا يجعل الأرض فعليًّا كوكبًا مميّزًا جدًّا، ويحفّزنا على محاولة تفسير كيف وجدنا أنفسنا نحيا في هذا البيت الغريب، وتسمَّى تلك الفكرة أحيانًا "مبدأ الوسطية".

إنَّ المصادفات السعيدة المُتعلِّقة بشكل المدارات الكوكبية، ككتلة الشمس وما إلى ذلك تُسمَّى بيئية لأنَّها تنشأ من الاكتشاف العرضي لما يحيط بنا، وليس من العفوية الموجودة في قوانين الطبيعة الأساسية. وعمر الكون هو عامل بيئيٌّ أيضًا، لأنَّ هناك أزمنةً مبكِّرةً وأزمنةً متأخِّرةً في تاريخ الكون، لكنَّنا يجب أن نحيا في هذه الحقبة لأنَّها الحقبة الوحيدة القابلة للحياة. من السهل فَهمُ المصادفات البيئية لأنَّ تلك التي تخصُّنا هي الموطن الكوني القابل للسكنى فقط ضمن مواطن عديدة في الكون، وبشكلٍ واضح يجب علينا التواجد في الموطن الذي يدعم الحياة.

لا يوجد خلاف كبير حول المبدأ الأنثروبولوجي الضعيف. لكن يوجد شكل أقوى سنناقشه هنا، بالرغم من أنَّه يُنظر إليه بازدراء من قبل بعض الفيزيائيين. فيقترح المبدأ الأنثروبولوجي القويُّ أنَّ حقيقة وجودنا تفرض قيودًا ليس فقط على بيئتنا لكن على محتوى

قوانين الطبيعة ذاتها والشكل الممكن لها. وقد نشأت الفكرة من أنَّ الخصائص المميزة لنظامنا الشمسي ليست هي فقط التي يبدو أنَّها تُفضي بغرابة لتطوّر الحياة البشرية، لكنّها خصائص مجمل كوننا أيضًا، وهذا من الصعب جدًّا تفسيره.

إنَّ قصّة الكيفية التي تطوَّر بها الكون البدائيّ من الهيدروجين والهيليوم وقليلٍ من الليثيوم إلى كون يحتضن على الأقلِّ عالم واحد به حياة ذكية مثلنا هي قصّة متعدّدة الفصول. وكما أشرنا سابقًا، فإنَّ قوى الطبيعة يجب أن تكون كالعناصر الأثقل ـ خصوصًا الكربون ـ مُنتَجة من عناصر بدائية، وتبقى مستقرَّة لمليارات السنين على الأقلِّ. لقد تكونت تلك العناصر الثقيلة في الأفران التي نسمِّيها نجومًا، ولذلك فإنَّ على القُوى أن تسمح أولًا بتشكيل النجوم والمجرّات. والعناصر التي انبثقت في الكون المبكّر من بذور دقائق غير تجانسية، والتي كانت متناسقة غالبًا لكنّها احتوت لحُسن الحظِّ على تفاوتات في الكثافة بحوالَي جزء واحد في 100,000. مع ذلك، فإنَّ وجود النجوم ووجود العناصر التي صُنِعْنَا منها داخل تلك النجوم، ليس كافيًا. ويجب أن تكون ديناميكية النجوم بحيث يجب أن ينفجر بعضها في الآخر، والأكثر من هذا، أنَّها تنفجر بالضبط بالطريقة التي تتيح لها توزيع العناصر الثقيلة خلال الفضاء. بالإضافة إلى أنَّه يجب على قوانين الطبيعة أن تملي على تلك البقايا إعادة تكثيف نفسها في جيل جديد من النجوم، كتلك المحاطة بكواكب تقوم بدمج العناصر الثقيلة المتكوّنة حديثًا. وكما كان يجب حدوث تلك الأحداث التي سمحت بتطوّرنا، كانت هناك أيضًا كلّ صلة من تلك السلسلة الضرورية لوجودنا. لكن في حالة الأحداث التي أدَّت لتطوّر الكون، فإنَّ تلك

التطوُّرات كانت محكومة بتوازن القُوى الأساسية في الطبيعة، لتوجد تلك التي أدَّت تفاعلاتها البينية المضبوطة تمامًا إلى وجودنا.

كان أوّل مَن حدَّد أنَّ هذا قد يشمل قياسًا جيّدًا للسرنديبية(*) هو فريد هويل Fred Hoyle، في خمسينيات القرن العشرين. فقد اعتقد هويل أنَّ كلَّ العناصر الكيميائية قد تكوّنت في البداية من الهيدروجين، الذي اعتبره المادّة الحقيقية البدائية. فالهيدروجين لديه أبسط نواة ذرّية تتكوّن من بروتون واحد فقط، إمَّا أن يكون بمفرده أو مركَّبًا مع نيوترون واحد أو نيوترونين. (الأشكال المختلفة من الهيدروجين، أو أيّ نواة لديها عدد البروتونات نفسه لكنَّ عددًا مختلفًا من النيوترونات تسمَّى نظائر isotopes). ونحن نعرف اليوم أنَّ ذرات الهيليوم والليثيوم، وهي الذرَّات التي تحتوي أنويتُها على بروتونَين أو ثلاثة بروتونات، قد تشكّلت أيضًا في الأصل بكمِّيَّات صغيرة جدًّا عندما كان عمر الكون 200 ثانية. وتعتمد الحياة من ناحية أخرى على العناصر الأكثر تعقيدًا، والكربون هو أحد أهم تلك العناصر، وهو الأساس لكلّ الكيمياء العضوية.

مع أنَّه يمكن للمرء تخيّل الكائنات "الحية" على أنَّها أجهزة كمبيوتر منتجة من عناصر أخرى، كالسيليكون، فمن المشكوك فيه أنَّ الحياة يمكن أن تتطوَّر بشكل تلقائيٍّ في غياب الكربون. وأسباب ذلك هي أسباب تقنية، لكنَّها يجب أن تتمَّ بتلك الطريقة الفريدة التي يرتبط بها الكربون مع العناصر الأخرى. فثاني أكسيد الكربون على سبيل المثال يكون في الحالة الغازية في درجة حرارة الغرفة، وهو مفيد جدًّا

(*) السرنديبية هي "حادث سعيد" أو "مفاجأة سارة"، عند العثور على شيء جيد أو مفيد دون قصد ـ المترجم.

من الناحية البيولوجية. ولأنَّ السيليكون هو العنصر الذي يقع مباشرةً تحت الكربون في الجدول الدوري، فإنَّ له الخصائصَ الكيميائيةَ نفسَها. مع ذلك فإنَّ ثاني أكسيد السيلكون، الكوارتز، مفيد جدًّا في جمع الصخور عن أن يوجد في رئتي الكائن الحيِّ. إلّا أنَّه قد يكون ممكنًا أن تتطوّر أشكال الحياة التي تستطيع التغذّي على السيلكون وأن تهزّ أذيالها بانتظام في برك الأمونيا السائلة. لكن حتَّى بالنسبة لهذا النوع من الحياة غريبة الأطوار، لم يكن ممكنًا أن يتطوَّر من العناصر البدائية وحسب، فتلك العناصر يمكنها تكوين مركَّبين مستقرَّين فقط وهما هيدرات الليثيوم، تلك المادّة البلورية الصُّلبة عديمة اللون وغاز الهيدروجين، ولا يمكن لأيٍّ منهما تكوين مركب يمكنه التكاثر أو الوقوع في الغرام حتَّى. وتتبقى أيضًا حقيقة كوننا شكلًا من حياة الكربون، ممّا يثير مسألة كيفية تخليق الكربون الذي تحتوي نواته على ستة بروتونات، وكذلك العناصر الثقيلة الأخرى في أجسامنا.

تحدث الخطوة الأولى عندما تبدأ النجوم الأقدم في مراكمة الهيليوم الناتج عن تصادم نواتَي هيدروجين واتّحاد بعضهما مع بعض. وهذا الاتِّحاد هو الطريقة التي تقوم بها النجوم بتوليد الطاقة التي تدفئنا. يمكن لذرتي هيليوم أن تتصادما بدورهما لتكوين عنصر البريليوم الذي تحتوي نواة ذرَّته على أربعة بروتونات. وبمجرّد تكوين البريليوم، يمكنه من حيث المبدأ أن يتَّحد مع نواة هيليوم ثالثة لتكوين الكربون. لكنَّ هذا لا يحدث، لأنَّ نظير البريليوم المتكوِّن سيتحلَّل على الفور غالبًا ويعود ليصبح نواتي هيليوم.

تتغيَّر الحالة عندما يبدأ الهيدروجين في النفاذ من النجم، وعندما يحدث هذا فإنَّ قلب النجم يتقلّص لترتفع درجة حرارته المركزية

لحوالَي 100 مليون درجة كلفن(*). وعند تلك الظروف، فإنَّ النُويَّاتِ ستتداخل فيما بينها، وبالتالي ستتصادم بعض نُويَّات البريليوم في الغالب مع نواة الهيليوم قبل أن تكون لديها فرصة التحلّل. ويمكن أن يتّحد البريليوم عندئذٍ مع الهيليوم لتكوين نظير مستقرٍّ من الكربون. لكن ذلك الكربون لا يزال بعيدًا جدًّا عن تكوين تجمعات منتظمة من المركَّبات الكيميائية من النوعية التي تستمتع بكأس بوردو، أو تتلاعب بكرات البولنج الخشبية المشتعلة، أو تطرح الأسئلة عن الكون. فلكي نتواجد كبشر، يجب أن يتحرَّك الكربون من داخل النجم إلى جوار مُواتٍ، وهو ما يتمّ كما قلنا، عند انفجار النجم في نهاية دورة حياته كسوبرنوفا، طاردًا الكربون والعناصر الثقيلة الأخرى التي تتكثّف فيما بعد مكوّنة الكوكب.

تسمَّى عملية تخليق الكربون تلك بعملية ألفا الثلاثية، لأنَّ "جسيم ألفا" هو اسم آخر لنواة نظير الهيليوم المستخدم، ولأنَّ العملية تتطلّب في النهاية اتحاد ثلاث نويات من الهيليوم بعضها مع بعض. تتنبّأ الفيزياء العادية بأنَّ معدّلَ إنتاج الكربون عن طريق عملية ألفاً الثلاثية لا بُدَّ وأن يكون ضئيلًا جدًّا. بملاحظة هذا، تنبَّأ هويل في عام 1952 بأنَّ محصّلة طاقات نواة البريليوم ونواة الهيليوم يجب أن تكون هي بالضبط نفس طاقة الحالة الكمومية المُحدّدة لنظير الكربون المتكوّن. وهي الوضعية التي تُسمَّى بالرنين resonance، والتي تزيد جدًّا من معدّل التفاعل النووي. في ذلك الوقت، لم يكن معروفًا مثل هذا المستوى من الطاقة، لكن بناءً على مقترحات هويل، قام ويليام فولر William Fowler من جامعة كالتاك بالبحث عنه وإيجاده، مقدِّمًا دعمًا مهمًّا لوجهة نظر هويل حول الكيفية التي تتخلّق بها الأنوية المركّبة.

(*) وحدة لقياس درجة الحرارة، حيث أن (درجة كلفن = الدرجة المئوية + 273.15)، ومن ثم فإن الصفر المُطلق هو درجة ـ 237.15 مئوية ـ المترجم.



عملية ألفا الثلاثية: يتكوّن الكربون داخل النجوم من تصادم ثلاثة نوايات هيليوم، وهو الحدث بعيد الاحتمال جدًّا إذا لم يكن صفة خاصّة لقوانين الفيزياء النووية

لقد كتب هويل: "لا أعتقد أنّ أيَّ عالم يختبر الأدلة، سيعجز عن التوصل لاستنتاج أنَّ قوانين الفيزياء النووية قد صُمِّمت بشكل متعمّد نظرًا للتبعات التي تنتجها داخل النجوم". لم يكن أحد في ذلك الوقت يعرف ما يكفي من الفيزياء النووية لكي يفهم قيمة السرنديبية التي أنتجت تلك القوانين الفيزيائية المنضبطة. لكن مع فحص صلاحية المبدأ الأنثروبولوجي القوي، بدأ الفيزيائيُّون في السنوات الحديثة في سؤال أنفسهم عمَّا يجب أن يكون عليه الكون إن كانت قوانين الطبيعة مختلفة. ويمكننا اليوم تخليق نماذج كمبيوتر يمكنها أن تخبرنا بكيفية اعتماد معدل تفاعل ألفا الثلاثي على شدّة القوى الأساسية في

الطبيعة. وتبيّن تلك الحسابات أنّ تغييرًا ضئيلًا بقيمة 0.5٪ من شدّة القوّة النووية القوية أو 4٪ من القوّة الكهربائية، يجب أن تدمّر تقريبًا إمّا كل الكربون أو كل الأكسجين في كافّة النجوم، ومن ثم تدمّر إمكانية الحياة كما نعرفها. فلتقم بتغيير تلك القواعد في الكون بشكل طفيف، وعندها ستختفيَ شروط وجودنا.

باختبار نماذج الأكوان التي حصلنا عليها عند تعديلنا لنظريَّات الفيزياء بطرق مُعيّنة، يمكن للمرء أن يدرس تأثير تغييرات القوانين الفيزيائية بطريقة ممنهجة. لينتهي الأمر إلى أنَّه ليست فقط شدّة القوّة النووية القوية والقوة الكهرومغناطيسية، هي التي وُجدت بانتظام لأجل وجودنا. فمعظم الثوابت الأساسية في نظريَّاتنا تبدو مضبوطةً بدقّة، بمعنى أنَّها لو عُدِّلت بمقادير بسيطة، فإنَّ الكون سيختلف كيفيًّا، وسيكون في حالات عديدة غير ملائم لتطوّر الحياة. فعلى سبيل المثال، إذا كانت القوّة النووية الأخرى، القوّة الضعيفة، أضعف بكثير في الكون المُبكّر فإنَّ كلَّ الهيدروجين في الكون سوف يتحوَّل إلى هيليوم وبالتالي لن تكون هناك نجوم طبيعية، وإن كانت أقوى بكثير، فإنَّ السوبرنوفا المنفجرة(*) لن تقذف بطبقتها الخارجية، ومن ثم ستفشل في أن تنثر في الفضاء بين النجمي تلك العناصر الثقيلة التي تحتاجها الكواكب لنشأة الحياة. وإذا كانت البروتونات أثقلَ بنسبة 0.2٪ فسوف تتحلّل إلى نيوترونات، وتجعل الذرّاتِ غيرَ مستقِرّة. وإذا كانت محصّلة كتلة أنواع الكواركات التي تصنع البروتون قد تغيّرت قليلًا بنسبة 10٪، سيكون هناك عدد أقلّ بكثير من نويات الذرَّات المستقرّة التي صُنِعْنا منها. في الحقيقة يبدو تقريبًا أنَّ محصّلة

(*)نوع من أنواع النجوم المتفجرة، وتعبير يدل على عدة انفجارات نجمية.. يرمي فيها النجم غلافة في الفضاء، ويطلق عليها أيضًا المستقر الأعظم أو الطارف الأعظم.

كتلة الكواركات أقرب للكمال من أجل وجود العدد الأكبر من نويات المستقرّة.

لو افترض المرء أنَّ عدَّة مئات من ملايين السنين في مدار مستقرٍّ هي أمرٌ ضروريٌّ لكي تتطوّر الحياة الكوكبية، فإنَّ عددَ أبعاد الفضاء سيكون مضبوطًا أيضًا لوجودنا. لأنَّه، ووفقًا لقوانين الجاذبية، ستكون مدارات القطْع الناقص المستقرّة ممكنة فقط في الأبعاد الثلاثية. وتكون المدارات الدائرية ممكنة في الأبعاد الأخرى، لكنَّها، وكما كان يخشى نيوتن، ستكون غيرَ مستقرّة. إلَّا أنَّ أيَّ اضطراب صغير في الأبعاد الثلاثية، كالذي يحدث نتيجة لجذب الكواكب الأخرى، سيرسل الكوكب خارج مداره الدائري مُسبّبًا تحركه بشكل لولبي إمّا مقتربًا من أو مبتعدًا عن الشمس، وبالتالي فإنّنا إمَّا نحترق أو نتجمّد. أيضًا في الأبعاد الأكثر من ثلاثة، فإنَّ قُوى الجاذبية بين جسمين ستتناقصُ سريعًا بأكثرَ ممَّا يحدث في الأبعاد الثلاثية. وفي الأبعاد الثلاثية تنقص قُوى الجاذبية لربع قيمتها إذا جرى مضاعفة المسافة. وفي الأبعاد الرباعية فإنَّها تنقص إلى 1/ 8 من قيمتها، وفي الأبعاد الخماسية فإنَّها ستنقص إلى 1/ 16 من قيمتها، وهكذا. وكنتيجة لذلك، فعند وجود أكثر من ثلاثة أبعاد لن تكون الشمس قادرة على الوجود في حالة مستقرّة من الضغط الداخلي المتوازن مع قوّة شدِّ الجاذبية. فإمَّا أن تتشظَّى لأجزاءٍ أو تتقلّص مُكوّنة ثقبًا أسود، وكلاهما سيُفسِد يومَك. ستتصرَّفُ القُوى الكهربائية على المقياس الذرِّي بطريقة قوى الجاذبية نفسها، وهذا يعني إمَّا أن تهرب الإلكترونات من الذرّات أو أنَّها ستسقط بشكل لولبيٍّ في النواة. ولن تكون الذرّات التي نعرفها ممكنة في أيٍّ من الحالتين.

إنَّ بزوغ التركيبات المُعقّدة التي يمكنها دعم وجود الملاحظين الأذكياء يبدو أنّه أمرٌ ضعيفٌ جدًّا. وتُكوِّن قوانين الطبيعة نظامًا منضبط بدقّة فائقة، ويمكننا تعديل القليل جدًّا في القانون الفيزيائي دون تدمير إمكانية تطوّر الحياة كما نعرفها. وإن لم توجد تلك السلسة من التوافقات المذهلة لتفاصيل القانون الفيزيائي الدقيقة، فسيبدو أنّه لن يظهر أبدًا لا البشر ولا أشكال الحياة المماثلة إلى الوجود.

يشتمل الضبط الدقيق المتزامن الأكثر إثارة للإعجاب ما يطلق عليه الثابت الكوني في معادلات آينشتاين للنسبية العامّة. فكما قلنا عندما صاغ آينشتاين النظرية في عام 1915، كان يعتقد أنَّ الكون ساكنٌ، فلم يكن يتمدَّد أو ينكمش. وحيث إنَّ كلَّ الموادِّ تجذب موادَّ أخرى، فقد أدخل في نظريته قوّة جديدة مضادّة للجاذبية لتعادل ميل الكون للانهيار على نفسه. وعلى خلاف القُوى الأخرى، لم تأتِ هذه القوّة من أيِّ مصدر مُعيّن لكنّها أُدمِجت في نسيج الزمكان المجرّد. وكان الثابت الكونيُّ يصف شدّة تلك القوّة.

وعندما تمّ اكتشاف عدم سكون الكون، قام آينشتاين بالتخلُّص من الثابت الكوني في نظريته وقال إنَّ هذا كان أفدح خطأ ساذج أقترفه في حياته. وفي عام 1998، أظهرت ملاحظات السوبرنوفا البعيدة جدًّا أنَّ الكون يتمدَّد بمعدّل متسارع، وهو التأثير غير الممكن دون وجود نوع ما من القوّة الطاردة التي تعمل خلال الفضاء، لقد تمَّ إحياء الثابت الكوني. ولأنَّنا نعرف الآن أنَّ قيمته ليست صفرًا، سيبقى السؤال لماذا تكون له تلك القيمة التي لديه؟ لقد اختلق الفيزيائيّون فروضًا لتفسير كيفية نشوء تلك القيمة بسبب تأثيرات ميكانيكا الكمِّ، لكنَّ القيمة التي حسبوها كانت حوالَي 120 أُسًّا (واحدٌ متبوعٌ بـ120 صفر) أقوى من

القيمة الحقيقية التي حصلوا عليها من ملاحظات السوبر نوفا. وهو ما يعني إمَّا أن يكون المنطق المستخدم في الحسابات خاطئًا، أو يوجد تأثير آخر يمكنه أن يلغي بمعجزة جزءًا ضئيلًا لا يمكن تخيُّله من العدد المحسوب. والشيء الوحيد المُؤكَّد هو أنَّه إذا كانت قيمة الثابت الكوني أكبر بكثير ممَّا هي عليه، فإنَّ كونَنا كان سيفجّر نفسه لأجزاءٍ من قبل تكوين المجرَّات، ومرَّة أخرى ستكون الحياة التي نعرفها مستحيلة.

ما الذي يمكننا عمله بتلك المصادفات المتزامنة؟ إنَّ دور الحظِّ في طبيعة القوانين الفيزيائية الأساسية وشكلها الدقيق يختلف عن نوع الحظِّ الذي نجده في العوامل البيئية، لن يكون تفسيره سهلًا، وستكون له تطبيقات فيزيائية وفلسفية أعمق. ويبدو أنَّ كونَنا وقوانينَه كليهما مصمِّمان على يد خياط ماهر لدعم وجودنا، إن كان يجب وجودنا، ممَّا يترك مجالًا ضئيلًا لتعديلها. ليس من السهل شرح ذلك، وهو ما يطرح السؤال الطبيعيّ عن لماذا يكون الكون بهذه الطريقة.

سيحب الكثير من النّاس استخدام تلك المصادفات كدليل على عمل الله. ففكرة أنّ الكون قد صُمِّم لملائمة الجنس البشريِّ قد ظهرت في الأديان والأساطير منذ آلاف الأعوام. وتفيد أساطير الخلق الأصلية الواردة في "كتاب الناس" الخاص بشعوب قبائل المايا أنّ الآلهة قد ادّعت أنّها "لن تحظى بالمجد أو الشرف لأجل كلِّ ما قامت بخلقه وتكوينه، حتى توجد الكائنات البشرية المجبولة على الإحساس" ويقول نصٌّ مصريٌّ نموذجيٌّ يعود إلى 2000 سنة قبل الميلاد: "الرجال، ماشية الربِّ، تمَّ النهوض جيِّدًا بأعبائها، وهو (إله الشمس) قد صنع السماء والأرض من أجل رفاهيتهم" وفي الصين

فإنَّ الفيلسوف التاوي ليه يو كو Lieh Yü-K'ou (400 سنة ميلادية) قد عبّر عن هذه الفكرة من خلال شخصية تقول في حكاية: "إنَّ السماء قد صنعت لنا خمسة أنواع من الحبوب لكي تنمو، ثم جاءت من هنا فصاعدًا بالأمم ذات الزعانف والريش، لمصلحتنا بشكل خاصٍّ".

وفي الثقافة الغربية، فإنَّ العهد القديم يتضمَّن فكرة التصميم الإلهي في روايته عن الخلق، لكنَّ رؤية المسيحية التقليدية قد تأثَّرت أيضًا بشدّة بأرسطو الذي اعتقد في "وجود عالَم طبيعيٍّ ذكيٍّ يعمل وفقًا لتصميم ما مدروس". وقد وظّف توما الإكويني أحد لاهوتيِّي القرون الوسطى المسيحيين أفكار أرسطو حول النظام في الطبيعة للمجادلة بوجود الربِّ. وفي القرن الثامنَ عشرَ فإنَّ أحد اللاهوتيين المسيحيين قد ذهب لأبعدَ من هذا بقوله إنَّ الأرانب لها ذيل أبيض لكي يسهل علينا التصويب عليها. وقد قُدِّم التوضيح الأكثر حداثة للنظرة المسيحية منذ عدَّة سنوات قليلة مضت، عندما قام الكاردينال كريستوف شونبورن Cardinal Christoph Schönborn، رئيس أساقفة فيينا، بكتابة "الآن، في بداية القرن الحادي والعشرين، فإنَّ الكنيسة الكاثوليكية تواجه المزاعم العلمية مثل الداروينية الجديدة وفرضية مُتعدّد الأكوان (الأكوان المُتعدِّدة) في علم الكونيات والتي ابتكرت لتجنّب الدليل الساحق والتصميم الموجودين في العلم الحديث، وأنَّ الكنيسة الكاثوليكية ستدافع مرَّة أخرى عن الطبيعة البشرية بإعلان أنَّ التصميم المتأصِّل في الطبيعة هو أمرٌ حقيقيٌّ". كان الدليل الساحق على وجود الغاية والتصميم في علم الكونيات واللذين أشار لهما الكاردينال هو الضبط الدقيق للقانون الفيزيائي كما وصفناه سابقًا.

كانت نقطة التحوُّل للرفض العلميِّ للكون الذي يشغل مركزه

الإنسان هو النموذج الذي وضعه كوبرنيكوس Copernicus للنظام الشمسيِّ، الذي لم تعد فيه الأرض تشغل مكانة مركزية. وللغرابة، فإنَّ نظرة كوبرنيكوس للعالم كانت مُؤنسنة anthropomorphic، لدرجة أنَّه قد طيب خاطرنا بالإشارة إلى أنه بالرغم من نموذجه الخاصّ بمركزية الشمس، فإنَّ الأرض غالبًا تقع في مركز الكون: "مع أنَّ (الأرض) ليست في مركز العالم، إلَّا أنَّ المسافة (إلى هذا المركز) هي شيء لا يُذكر خصوصًا عند مقارنتها بالنجوم الثابتة". ومع اختراع التليسكوب، فإنَّ الملاحظات التي تمت في القرن السابعَ عشرَ، مثل حقيقة أنَّ كوكبنا ليس هو الوحيد التي يدور حوله قمر، قد أضْفَت وزنًا لمبدأ أنَّنا لا نحظى بموضع متميِّز في الكون. وفي القرون التالية، كلَّما اكتشفنا شيئًا عن الكون، كلما كان من الممكن أن يبدو كوكبنا كحديقة أمرا اعتياديا. لكن الاكتشاف الحديث نسبيًّا للضبط الدقيق الفائق للعديد من قوانين الطبيعة، قد يؤدِّي لأن يعود بعضنا على الأقل للفكرة القديمة بأنَّ هذا التصميم العظيم هو من عمل بعض المصمِّمين العظام. ولأنَّ دستور الولايات المتَّحدة يحظر تدريس الأديان في المدارس، فإنَّ هذه النوعية من الأفكار تُسمَّى بالتصميم الذكيِّ، بفهم لا ينصُّ على ذلك صراحة، لكنَّه يتضمَّن أنَّ هذا المُصمّم هو الله.

ليست تلك هي إجابة العلم الحديث. فقد رأينا في الفصل الخامس أنَّ كونَنا قد يكون واحدًا من عدِّة أكوان، لكلٍّ منها قوانين مختلفة. ففكرة متعدّد الأكوان تلك ليست فكرة شخصية اختُرعت لتعليل معجزة الضبط الدقيق. بل إنَّها نتيجة ترتبت على حالة اللاحدود no-boundary مثل العديد من النظريَّات الأخرى في علم الكونيات الحديث. لكن إن

كان هذا حقيقيًّا، فإنَّ المبدأ الإنثروبولوجي القويَّ(*) يمكن اعتباره مكافئًا بشكل فعَّال للمبدأ الإنثروبولوجيّ الضعيف(**)، مع وضع الضبط الدقيق للقانون الفيزيائي على قدم المساواة مع العوامل البيئية، أو أن يعني ذلك أنَّ بيئة السكنى الكونية ـ مجمل الكون الملحوظ الآن ـ هي فقط واحدة من عدّة بيئات مثلما أنَّ نظامنا الشمسيَّ هو واحد من عدَّة أنظمة. وهذا يعني أنَّه بالطريقة نفسها، فإنَّ المصادفات البيئية في نظامنا الشمسيّ كان يتمُّ تقديمُها بشكل لا تلحظه مداركنا بوجود المليارات من تلك الأنظمة. إنَّ الضبط الدقيق في قوانين الطبيعة يمكن تفسيرُه بوجود الأكوان المُتعدِّدة. والعديد من الناس على مرِّ العصور قد أرجعوا إلى الله جمال وتعقيدات الطبيعة التي لم يكن لها أيُّ تفسير علميٍّ في عصرهم. لكن مع قيام داروين Darwin وولاس Wallace بشرح كيف أنَّ ما يظهر كتصميم معجز لأشكال الحياة يمكنه أن يظهر دون تدخُّل أيّ موجود فوقيٍّ، فإنَّ مفهوم مُتعدّد الأكوان يمكنه أن يفسر الضبط الدقيق للقانون الفيزيائي دون حاجة لوجود خالقٍ محسنٍ يقوم بخلق الكون لمصلحتنا.

لقد طرح آينشتاين ذات مرَّة على مساعده إرنست شتراوس Ernst Straus السؤال المُربك: "هل كان لدى الله أيُّ خيار عندما خلق الكون؟". وفي أواخر القرن السادسَ عشرَ كان كيبلر Kepler مقتنعًا بأنَّ الله قد خلق الكون وفقًا لبعض المبادئ الرياضية المتقَنة. وقد أوضح نيوتن أنّ القوانين التي تنطبق على السماوات هي ذاتها التي

(*) معناه أن الكون والعلاقات الجوهرية، التي يرتبط بها يجب أن تترك لنا مجالا للوجود في بعض أطواره ـ المترجم.

(**) معناه أنه يجب أن نكون على استعداد للإقرار بأن موقعنا في الكون حتمًا له أفضلية، حيث أنه يتلاءم مع وجودنا كملاحظين ـ المترجم.

تنطبق على الأرض، كما ابتكر المعادلات الرياضية التي تُعبّر عن تلك القوانين الرائعة جدًّا بحيث إنَّها قد ألهمت كثيرًا تلك الحماسة الدينية لدى العديد من علماء القرن الثامنَ عشرَ، وقد بدا أن نيوتن كان يتعمَّد استخدامها ليُبيِّنَ أنّ الله كان رياضيًّا.

ومنذ نيوتن، وخاصة منذ آينشتاين، كان هدف الفيزياء هو إيجاد المبادئ الرياضية البسيطة لتخيُّل كيبلر اللطيف، واستخدامها في خلق النظرية الموحّدة لكلِّ شيء، التي يمكنها تفسير كلِّ تفصيلة للمادّة وللقوى التي نلاحظها في الطبيعة. وفي نهايات القرن التاسعَ عشرَ وأوائلِ القرن العشرين قام آينشتاين وماكسويل بتوحيد نظريَّات الكهربائية والمغناطيسية والضوء. وفي سبعينيَّات القرن العشرين تمَّ ابتكار النموذج القياسي، والنظرية المفردة للقوى النووية الضعيفة والقوية، والقوّة الكهرومغناطيسية. وقد جاءت نظرية الأوتار والنظرية -"إم" كمحاولة لتضمين القوّة الباقية وهي الجاذبية. لم يكن الهدف فقط إيجاد النظرية الواحدة التي تفسِّر كلّ القوى، لكن كان أيضًا إيجاد النظرية التي تفسّر الأعداد الرئيسية التي تكلّمنا عنها، مثل شدّة القوى وكتلة وشحنة الجسيمات الأولية. وحسب صياغة آينشتاين، كان الأمل هو قدرتنا على قول إنّ "الطبيعة مؤسّسة بحيث يصبح ممكنًا منطقيًّا وضع تلك القوانين المُحدّدة جدًّا، حيث إنَّه في إطار تلك القوانين فقط تكون الثوابت المنطقية محدّدة تمامًا (ولهذا فهي ليست الثوابت التي يمكن تغيير قيمها العددية من دون تحطيم النظرية)". لا يرجَّح أن يكون للنظرية الفريدة الضبط الدقيق الذي يتيح وجودنا. لكنَّنا إذا قُمنا على ضوء التطوّرات الحديثة بترجمة حلم آينشتاين بالنظرية الفريدة التي تفسِّر هذا الكون والأكوان الأخرى، بكلِّ أطياف القوانين

المختلفة، فستكون النظرية ـ "إم" هي تلك النظرية. لكن هل النظرية ـ "إم" نظرية فريدة، أو يقتضيها ويتطلبها أيّ مبدأ منطقي بسيط؟ وهل يمكننا الإجابة عن السؤال، لماذا النظرية ـ "إم"؟



الفصل الثامن

○

التّصميم العَظيم

قمنا في هذا الكتاب بتوضيح كيف توحي نظم حركة الأجسام الفلكية مثل الشمس والقمر والكواكب بأنَّها محكومة بقوانين راسخة، أكثر من كونها موضوعًا لرغبات الآلهة والعفاريت ونزواتها المستبدة. لقد أصبح وجود تلك القوانين في البداية ظاهرًا فقط في الفلك (أو التنجيم حيث كان ينظر لهما كشيء واحد). وكان سلوك الأشياء على الأرض مُعقّدًا جدًّا وخاضعًا للعديد من التأثيرات، بحيث لم تكن الحضارات المبكرة قادرة على إدراك أية ترتيبات واضحة أو أية قوانين يمكنها أن تتحكم في تلك الظواهر. إلَّا أنَّه تمَّ تدريجيًّا اكتشاف قوانين جديدة في مجالات غير الفلك، ممَّا أدّى لفكرة الحتمية العلمية: فلا بُدَّ من وجود مجموعة كاملة من القوانين التي ـ بافتراض وضعية الكون في وقت مُحدّد ـ يمكنها أن تحدّد كيف يتطوّر الكون قُدمًا انطلاقًا من هذا الوقت. ويجب أن تشمل هذه القوانين أيَّ مكان في كلِّ الأوقات، وإلَّا ما كان ممكنًا اعتبارها قوانين. فلن تكون هناك استثناءات أو معجزات، ولن تستطيع الآلهة والعفاريت أن يتدخلا في مجريات الكون.

في الوقت الذي اقترحت فيه الحتمية العلمية لأوّل مرّة، كانت قوانين نيوتن عن الحركة والجاذبية هي القوانين الوحيدة المعروفة.

وقد أوضحنا كيف أن آينشتاين قد وسَّع من نطاق عمل هذه القوانين في نظرية النسبية العامة، وكيف تم اكتشاف قوانين أخرى للتحكم في مظاهر الكون الأخرى.

إن قوانين الطبيعة تخبرنا بالكيفية التي يتصرَّف بها الكون، لكنَّها لا تجيب على سؤال لماذا؟ وهي الأسئلة التي وضعناها في بداية هذا الكتاب:

لماذا يوجد شيء ما بدلًا من لا شيء؟

لماذا نحن موجودون؟

لماذا هذه المجموعة من القوانين وليست مجموعة أخرى؟

قد يزعم بعضهم أنّ إجابة تلك الأسئلة هي أنَّ هناك إله قد اختار خلق الكون بهذه الطريقة. ومن المعقول أن نسأل من أو ما الذي خلق الكون، لكن إن كانت الإجابة هي الإله، فحينها سينقلب السؤال وحسب ليكون ومن خلق الله. من المقبول حسب تلك الرؤية وجود كينونة ليست بحاجة لخالق، وتسمّى تلك الكينونة إلهًا، ويدعى ذلك بالعلة الأولى للبرهنة على وجود الله. ونحن نزعم مع ذلك أنَّه من الممكن الإجابة على تلك الأسئلة بوضوح في مجال العلم من دون استحضار أي قوى غيبيّة.

فطبقًا لفكرة الواقعية المعتمدة على النموذج التي قدمناها في الفصل الثالث، فإنَّ أدمغتنا تترجم المدخلات الآتية من أعضائنا الحسّية بعمل نموذج للعالم الخارجي. ونقوم بتشكيل مفاهيم ذهنية عن بيوتنا وعن الأشجار والناس الآخرين والكهرباء التي تتدفّق من مقبس الكهرباء في الحائط والذرَّات والجزيئات والأكوان الأخرى، وتلك المفاهيم الذهنية هي الواقع الوحيد الذي نعرفه، ولا يوجد

اختبار للواقع مستقل عن النموذج، ويلي ذلك أنَّ النموذج المشيد جيّدًا يخلق واقعًا خاصًّا بذاته. وهو المثال الذي يمكن أن يساعدنا على التفكير في مسائل الواقع والخلق على أنَّها لعبة الحياة Game of Life التي اختُرِعت في عام 1970 بواسطة عالم الرياضيات الشاب جون كونواي John Conway في جامعة كامبردج.

إنَّ كلمة "لعبة" في لعبة الحياة هي مصطلح خاطئ، فلا يوجد فائزون أو خاسرون، وفي الواقع لا يوجد لاعبون. إنَّ لعبة الحياة ليست لعبة حقيقة لكنَّها مجموعة من القوانين التي تحكم كونًا ثنائي الأبعاد، إنّه كون حتمي: فبمجرد إعداد شكل البداية أو الحالة الابتدائية، فإنَّ القوانين ستحدّد ما الذي سيحدث في المستقبل.

إنّ العالم الذي ابتكره كونواي عبارة عن مصفوفة مربعة، كلوحة شطرنج، لكنَّها تمتدّ بشكل لانهائي في كلِّ الاتِّجاهات. ويمكن أن يكون كلَّ مربع في أيٍّ من الحالتين، إمّا حي (موضح باللون الأبيض) وإمّا ميت (موضح باللون الأسود)، ولكلّ مربع أربعة مربعات مجاورة، أعلى وأسفل ويمينًا ويسارًا مع أربعة مربعات في الأركان. والزمن في هذا العالم ليس متصلًا لكنّه يتحرّك للأمام في خطوات متفرقة. وبإعطاء أي ترتيب للمربعات الميتة والحية، فإنَّ عدد المربعات الحيّة المجاورة سيحدّد ما الذي سيحدث فيما بعد وفقًا للقوانين التالية:

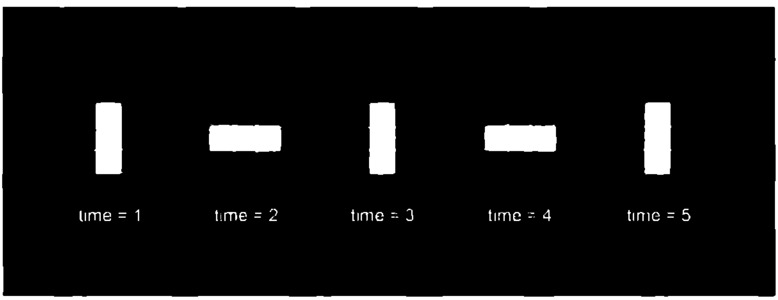
1 ـ المربع الحيّ الذي لديه مربعان أو ثلاثة مربّعات حية مجاورة سيبقى حيًّا (البقاء).

2 ـ المربع الميت الذي لديه بالضبط ثلاثة مربعات حيّة مجاورة يصبح خلية حيّة (الولادة).

3 ـ في جميع الحالات الأخرى فإنَّ الخلية تموت أو تبقى ميتة. وفي حالة إذا لم يكن للمربع الحي أي جيران أو جار واحد فقط، يُقال

إنّه يموت من الوحدة، وإذا كان لديه أكثر من ثلاثة مربعات مجاورة، يقال إنَّه يموت من الازدحام.

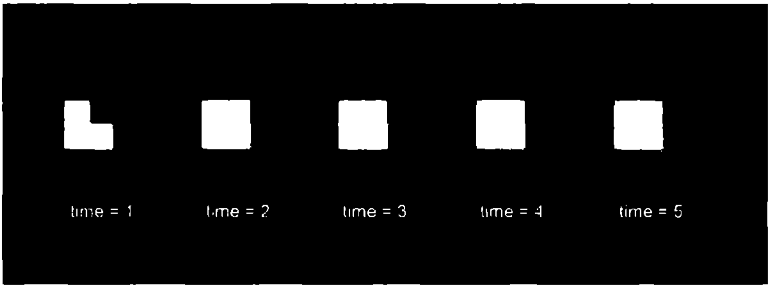
هذا كل ما هنالك، فبأية حالة ابتدائية معيّنة، فإنَّ تلك القوانين ستُولِّد جيلاً بعد جيل. المربع الحيّ المعزول أو المربَّعان الحيّان المتجاوران سيموتان في الجيل التالي لأنَّه ليس لديهم مربَّعات مجاورة كفاية. والثلاثة مُربّعات الحية المائلة ستعيش أطول قليلاً. بعد الخطوة الأولى فإنَّ المُربّعات الموجودة في النهاية ستموت، تاركة فقط المربع الأوسط ليموت في الجيل التالي. وسيتلاشى أي خطّ من المربعات المائلة بتلك الطريقة بالضبط. لكن إذا وضعت ثلاثة مربعات حيّة في صفٍّ أفقيٍّ، سيكون لدى المربع في المنتصف مرة أخرى مربعان متجاوران وسيعيش بينما سيموت المربعان الموجودان عند الطرفين، لكن في تلك الحالة ستولد الخلايا الموجودة في الأعلى وفي الأسفل، وبالتالي سيتحوَّل الصف إلى عمود. وبشكل مشابه، ففي الجيل التالي سيعود العمود ليصبح صفًّا، وهكذا دواليك. مثل هذه الهيئات المتذبذبة تسمَّى الوامِضات blinkers.



الوامضات: الوامضات هي نوعٌ بسيطٌ من الأشياء المركَّبة في لعبة الحياة

إذا وضعت ثلاث مربَّعات حيّة على شكل الحرف L، فإنَّها ستتصرّف بشكل آخر. ففي الجيل التالي سيولد المربَّع الذي يلحق به الحرف L،

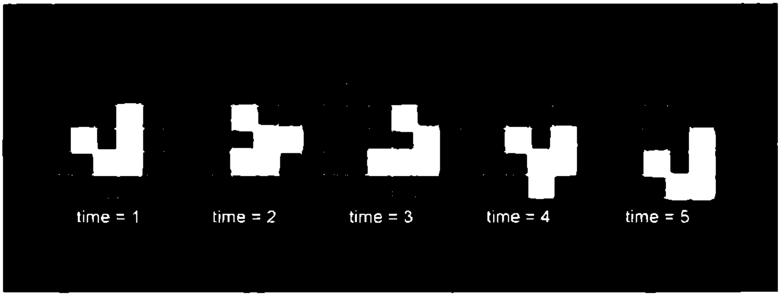
مِمَّا يؤدِّي لوحدة من أربعة مربَّعات 2×2. تلك الوحدة تَخُصُّ نوعًا من الترتيب يُسمَّى لوحة الحياة الساكنة still life لأنَّه سَيُمرّر من جيل إلى جيل دون أيِّ تعديل. توجد عدة أنواع من الترتيبات التي تتشكّل في الأجيال المبكّرة، لكنَّها تتحوَّل سريعًا إلى لوحة الحياة الساكنة، أو تموت، أو تعود إلى شكلها الأوليّ ومن ثم تعيد العملية.



التطور إلى حياة ساكنة Stil Life: تتطوّر بعض الأشياء المركَّبة في لعبة الحياة Game of Life إلى شكل لا تتغيّر فيه القواعد المُملاة

هناك أيضًا أشكال تُسمَّى المنزلقات Gliders، التي تتشكَّل في أشكال أخرى، لتعود بعد أجيال قليلة لشكلها الأوليّ، لكن في وضع مربّع أسفل الخطّ القُطري. وإذا شاهدتها تتطوّر على مرِّ الزمن، فإنَّها ستظهر وكأنَّها تزحف على طول الصفوف. وعندما تتصادم تلك المُنزلقات، تحدث تصرفات غريبة تعتمد على شكل كلّ مُنزلقة في لحظة التصادم.

إنَّ ما يجعل هذا الكون مُثيرًا، هو أنَّه بالرغم من أنَّ الفيزياء الأساسية لهذا الكون بسيطة، إلا أنَّ الكيمياء قد تكون مُعقّدة. وهكذا فالأشياء المُركّبة موجودة على مستويات مختلفة. فعلى المستوى الأصغر، تخبرنا الفيزياء الأساسية بأنَّه يوجد فقط مربّعات حيّة وميّتة. وعلى مستوى أكبر، هناك مجموعة مُنزلقات ووامِضات ولوحات الحياة



المنزلقات: تتشكّل المنزلقات خلال تلك الأشكال الوسيطة، ثم تعود إلى شكلها الأوليّ، منزاحة بمربع عن الخطّ القطري

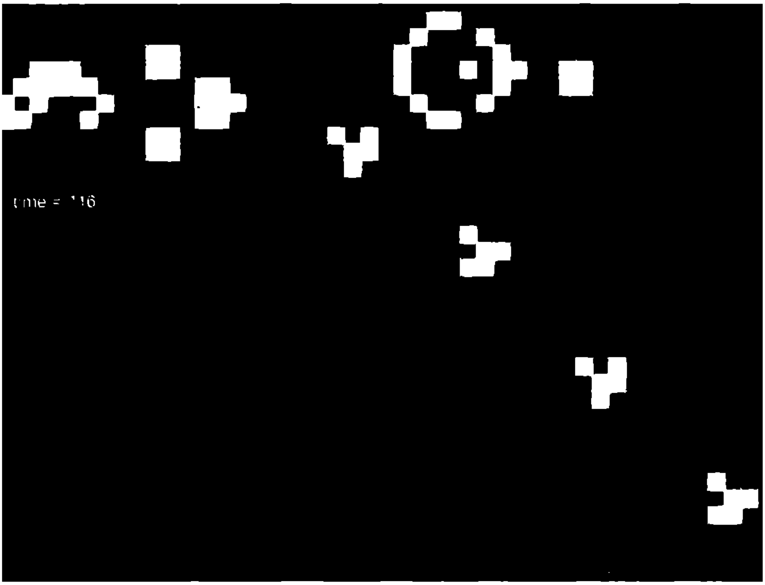
الساكنة. ولا يزال يوجد حتَّى على المستوى الأكبر مزيدًا من الأشياء المركبة، كالمسدسات المنزلقة: وهي الأشكال الثابتة التي تُولِّد بشكل دوري مُنزلقات جديدة تترك موضعها وتتدفّق لأسفل الخطّ القطري.

إذا لاحظت لعبة حياة الكون لبرهة على أي مقياس محدّد، سيمكنك استنباط القوانين التي تتحكّم في الأشياء على هذا المقياس. على سبيل المثال، بمقياس أشياء كمربّعات قليلة متقاطعة قد يكون لديك قوانين مثل "الوحدات لن تتحرّك أبدًا"، "المنزلقات تتحرّك بشكل مائل"، والقوانين المختلفة التي تخصّ ما يحدث عندما تتصادم الأشياء. يمكنك أن تبتكر فيزياء كاملة عند أيِّ مستوى من الأشياء المُركّبة. فالقوانين تتطلّب كينونات ومفاهيم ليس لها مكان ضمن القوانين الأصلية. فعلى سبيل المثال، لا توجد مفاهيم مثل "تصادم" أو "تحرّك" في القوانين الأصلية، فهي تصف وحسب موت وحياة المربّعات المفردة الساكنة. وكما في كوننا، ففي لعبة الحياة سيعتمد واقعك على النموذج الذي تستخدمه.

ترتيب الأولي لمدفع المنزلقات: **Glider Gun**، المدفع المنزلق أكبر بعشر مرّات قريبًا من إحدى المنزلقات

لقد ابتكر كونواي Conway مع طلابه هذا العالم لأنَّهم أرادوا عرفة إذا ما كان هناك كونٌ له قواعد أساسية، ببساطة تلك التي قاموا تحديدها، ويمكنه أن يحتوي على أشياء مُعقّدة بما يكفي لتوالدها. ي عالم لعبة الحياة، لو قمت بتركيب أشياء لتوجد حيث تتبع وحسب وانين هذا العالم لعدة أجيال، فإنَّها سوف تنتج أشياء أخرى من وعها؟ لم يكن كونواي وطلابه قادرين فقط على توضيح أنَّ ذلك ممكنٌ، لكنَّهم بيَّنوا أيضًا أنَّ مثل هذه الأشياء قد تكون، بمعنى ما، ذكية! ماذا نعني بذلك، لكي نكون دقيقين فإنَّهم قد أوضحوا أنَّ التجمّعات لهائلة من المُربَّعات التي تتوالد ذاتيًّا ما هي إلَّا "آلات تيورنج كونية". ن ما يهمُّنا، أنَّ هذا يعني بالنسبة لأيَّة عملية حسابية يمكن أن يجريها

من حيث المبدأ الكمبيوتر في عالمنا الماديِّ، هو أنَّه لو تمَّ إمداد الآلة بالمدخلات المناسبة - كأن يتمّ إمدادها بالبيئة المناسبة لعالم لعبة الحياة - فبعد عدّة أجيال ستكون الآلة في حالة ستتمكن عندها من قراءة المخرجات المناظرة لنتيجة العملية الحسابية لهذا الكمبيوتر.



مدفع المنزلقات بعد 116 جيلا: مع الوقت فإن مدفع المنزلقات يتغير شكله، وتنبعث منه إحدى المنزلقات ثمّ يعود إلى شكله ووضعه الأصلي.. هذه العملية تتكرر إلى ما لا نهاية

للحصول على تصوُّر لكيفية عمل ذلك، ضع في اعتبارك ما يحدث عندما يتمّ قذف المنزلقات ببساطة كوحدات من المربَّعات الحيَّة بهيئة 2×2. إذا تمّت مقاربة المنزلقات بالطريقة الصحيحة، فإنَّ الوحدة التي كانت ساكنة، ستتحرَّك مقتربة أو مبتعدة عن مصدر المنزلقات. وبتلك الطريقة، فإنَّ الوحدة يمكنها محاكاة ذاكرة الكمّبيوتر. في الحقيقة فإنَّ كلَّ الوظائف الأساسية للكمبيوتر الحديث، مثل بوّابات AND و OR

يمكن تخليقها أيضًا من المنزلقات. وبهذه الطريقة، فكما يتمُّ توظيف الإشارات الكهربائية في الكمّبيوتر الماديّ، فإنَّ تيّار المنزلقات يمكن توظيفه لإرسال المعلومات ومعالجتها.

وفي لعبة الحياة، كما في عالمنا، فإنَّ أشكال إعادة الإنتاج الذاتية هي أشياء مُركَّبة. وأحد التقديرات، وفقا لعمل الرياضيِّ جون فون نيومان John von Neumann المبكّر، يضع الحجم الأدنى لشكل إعادة الإنتاج الذاتيِّ في لعبة الحياة عند عشرة ترليون مربع ـ وهو تقريبًا عدد الجزيئات الموجودة في خلية بشرية واحدة.

يمكن للمرء أن يُعرِّف الأشياء الحيّة بأنَّها أنظمة مُعقّدة ذات أحجام محدودة ومستقرَّة وتُعيد إنتاج ذاتها. الأشياء التي تمَّ وصفها سابقًا تلبي حالة التوالد ولكنَّها ليست مستقرّة في الغالب: فأيُّ خلل بسيطٍ من الخارج يُحتمل أن يُربكَ تلك الآلية الدقيقة. مع هذا، فمن السهل تخيّل أنَّ القوانين الأكثر تعقيدًا قد تتيح أنظمة مُعقّدة تحتوي على كلّ سمات الحياة. فتخيّل كينونة من هذا النوع، شيء في عالم من نوع كونواي. وعلى مثل هذا الشيء أن يستجيب للمنبِّهات البيئية، ومن ثم يبدو كأنَّه يتّخذ القرارات. هل ستكون مثل تلك الحياة مدركة لذاتها؟ هل سيكون لديها وعي ذاتيّ؟ هذا السؤال تنقسم حوله الآراء بشكل حادّ. فبعض الناس يزعم أنَّ إدراك الذات هو شيء فريد يخصّ البشر، فهو يعطيهم الإرادة الحرّة، وقابلية الاختيار بين مسارات الفعل المختلفة.

كيف يمكن للمرء القول بأنّ للكائن إرادة حرّة؟ وإذا صادف المرء كائنًا فضائيًّا، كيف يمكنه القول بأنّه مجرّد إنسان آلي أم أنَّ لديه عقلًا؟ إنَّ سلوك الإنسان الآلي يمكن تحديده تمامًا، بخلاف الكائن ذي الإرادة الحرّة. لذا يمكن للمرء من حيث المبدأ أن يحدّد الإنسان الآلي بأنَّه الكائنُ الذي يمكن التنبُّؤ بكلِّ أفعاله. وكما قلنا في الفصل الثاني،

قد يكون هذا صعبًا للغاية لو كان هذا الكائن كبيرًا ومعقّدًا. فنحن لا نستطيع حتَّى أن نَحُلَّ بالضبط معادلاتِ ثلاثة جسيماتٍ أو أكثر تتفاعل فيما بينها. ولأنَّ كائننا فضائيا في حجم الإنسان سيحتوي على حوالَي ألف ترليون ترليون جُسيم حتَّى لو كان إنسانًا آليًّا، فسيكون من المستحيل حلّ المعادلات والتنبّؤ بما سيفعله. ولهذا يجب قول إنَّ أيَّ كائن معقّد لديه إرادة حرّة ـ ليس كملمح أساسيٍّ، لكن كنظرية تأثيرات، كاعتراف بعدم قدرتنا على إجراء العمليات الحسابية التي تُمكننا من التنبّؤ بأفعال هذا الكائن.

إنَّ مثال كونواي عن لعبة الحياة يوضح أنَّه يمكن حتَّى لأبسط مجموعة من القوانين أن تنتج ملامح مُركَّبة تشبه تلك التي لدى الحياة الذكية. يجب أن يكون هناك عدّةُ مجموعاتٍ من القوانين لها تلك الخاصية. فما الذي ينتقي القوانين الأساسية (في مقابل القوانين الظاهرية) التي تتحكّم في كوننا؟ كما في كون كونواي، فإنَّ قوانين كوننا تحدّد تطوّر النظام، بافتراض حالته في أيِّ لحظة من الزمن. ففي عالم كونواي نحن خالقون ـ نحن نختار الحالة الابتدائية للكون وذلك بتحديد الأشياء وموضعها في بداية اللعبة.

في الكون الماديِّ، فإنَّ النسخ المطابقة لأشياء مثل المُنزلقات في لعبة الحياة هي أجسامٌ مادية معزولة. وأية مجموعةٍ من القوانين التي تصف عالمًا متصلًا كعالمنا، سيكون لديها مفهومٌ عن الطاقة، ككمية محفوظة، بما يعني عدم تغيرها مع الوقت. ستكون طاقة الفضاء الفارغ ثابتّة، ولن تعتمد على كلٍّ من الوقت والموضع. ويمكن للمرء أن يستخلص ثابت طاقة الفراغ بقياس طاقة أيِّ حجم من الفضاء بالنسبة إلى هذا الذي لدى الحجم نفسه من الفضاء الفارغ، لذلك يمكننا أيضًا

أن نسمّي الثابت صفرًا. إنَّ أحد متطلبات أيّ قانون طبيعيّ يجب أن تضمن وجوب أن تكون طاقة الجسم المعزول المحاط بفضاء فارغ موجبة، بما يعني بذل جهد في العمل لتجميع الجسم. هذا لأنَّه لو كانت طاقة الجسم المعزول سالبة، فربَّما يكون قد خلق في حالة حركة، حيث تكون طاقته السالبة متوازنة بالضبط مع الطاقة الموجبة الناتجة عن حركته. وإن كان هذا صحيحًا، فلن يكون هناك حتى مبرر لا تستطيع الأجسام بسببه أن تتواجد في أيِّ مكان وفي كلِّ مكان. وبالتالي يجب أن يكون الفضاء الفارغ غير مستقرّ. لكن لو تكلّف الأمر طاقة لتخليق جسم معزول، فإنّ عدم الاستقرار هذا لا يمكن حدوثه، لأنَّه وكما قلنا فإنَّ طاقة الكون يجب أن تظلَّ ثابتة. وهذا كلُّ ما يتطلّبه جعل الكون مستقرًا موضعيًا ـ لجعل تلك الأشياء لا تظهر وحسب في أيِّ مكان من العدم.

إنَّ طاقة الكون الإجمالية يجب أن تظلَّ صفرًا دائمًا، ويتكلّف الأمر طاقة لتخليق الجسم، فكيف يتمُّ خلق مجمل الكون من لاشيء؟ لهذا يجب أن يكون هناك قانونٌ كقانون الجاذبية. ولأنَّ الجاذبية قوَّة جاذبة، فإنَّ طاقة الجاذبية سالبة: وعلى المرء بذل جهد في العمل لفصل النظام المرتبط جذبويًا، مثل الأرض والقمر. وتلك الطاقة السالبة يمكنها موازنة الطاقة الموجبة المطلوبة لخلق المادَّة، لكنَّ الأمر ليس بتلك البساطة. فالطاقة الجذبوية السالبة للأرض على سبيل المثال، أقلّ من واحد على مليون من الطاقة الموجبة لجسيمات المادّة التي صُنعت الأرض منها. إنَّ جسمًا مثل النجم سوف تكون له طاقة جذبوية سالبة أكثر، وكلَّما صغر (كلما اقتربت الأجزاء المختلفة بعضها من بعض)، كانت تلك الطاقة الجذبوية السالبة أكبر. لكن قبل أن تصبح أكبرَ من

الطاقة الموجبة للمادّة، فإنَّ النجم سينهار ويتقلّص إلى ثقب أسود، والثقوب السوداء لديها طاقة إيجابية. وهذا هو سبب أنَّ الفضاء الفارغ مستقرّ. فأجسام مثل النجوم أو الثقوب السوداء لا تستطيع الظهور وحسب من لا شيء. لكنَّ مجمل الكون يمكنه ذلك.

ولأنَّ الجاذبية تشكّل المكان والزمان، فإنَّها تسمح بأن يكون الزمكان مستقرًّا موضعيًّا ولكنّه غيرُ مستقرٍّ على الصعيد الكوني. وبمقياس مجمل الكون، فإنَّ الطاقة الموجبة للمادّة يمكنها أن تتوازن بالطاقة الجذبوية السالبة، وبالتالي لا توجد قيود على خلق مجمل الكون. لأنَّ هناك قانونًا مثل الجاذبية، فإنَّ الكون يمكنه أن يخلق نفسه من لاشيء وسوف يفعل ذلك بالطريقة التي تمَّ وصفها في الفصل السادس. والخلق التلقائي هو السبب في أنَّ هناك شيئًا بدلًا من اللاشيء. فلماذا يوجد الكون؟ ولماذا نوجد نحن. ليس من الضروري أن نستحضر إلهًا لإشعال فتيل الخلق ولضبط استمرار الكون.

لماذا تكون القوانين الأساسية بالكيفية التي وصفناها؟ فالنظرية الكلية يجب أن تكون متوافقة ومتماسكة ويجب أن تتنبّأ بالنتائج المحدودة للكميات التي يمكننا قياسها. لقد رأينا كيف يجب أن يكون هناك قانون كقانون الجاذبية، وكما رأينا في الفصل الخامس فلكي تتنبَّأ نظرية الجاذبية بالكمّيات المحدودة، يجب أن يكون لديها ما يُسمَّى بالتناظر الفائق بين كلِّ قوى الطبيعة والمادّة التي تعمل عليها. والنظرية ـ "إم" هي أكثر نظرية للجاذبية فائقة التناظر بشكل عامّ. ولتلك الأسباب فإنَّ النظرية ـ "إم" هي النظرية الوحيدة المُرشّحة لأن تكون النظرية الكاملة للكون. فلو كان هذا الكون محدودًا ـ وهو ما لم يتمّ إثباته بعد ـ فسوف تكون نموذجًا للكون

الذي يخلق نفسه. ويجب أن نكون جزءًا من ذلك الكون لأنَّه لا يوجد نموذج آخر متماسك.

النظرية ـ "إم" هي النظرية المُوحّدة التي كان يأمل آينشتاين في أن يجدها. وحقيقة أنَّنا كائنات بشرية ـ وأننا عبارة عن مجرّد مجموعات من العناصر الطبيعية الأساسية ـ فإن قدرتنا على الاقتراب من فهم القوانين التي تتحكم فينا وفي كوننا ستكون انتصارًا عظيمًا. لكن ربّما تكون المعجزة الحقيقية، هي أنَّ يقودنا تجريد اعتبارات المنطق إلى النظرية الفريدة التي تتنبّأ وتصف الكون الهائل المليء بهذا التنوّع العجيب الذي نراه. وإذا تمَّ إثبات النظرية بالملاحظة، فسيكون ذلك خلاصة ناجحة للبحث الذي يرجع تاريخه لأكثر من 3000 عام. وسنكون قد عثرنا على التصميم العظيم.

مسردُ المصطلحات

Alternative histories

تواريخُ بديلة: صيغة من نظرية الكمِّ تكون فيها احتماليّةُ أيِّ ملاحظة منشأة من كلٍّ التواريخ الممكنة التي تستطيع أن تؤدِّي إلى تلك الملاحظة.

Anthropic principle

المبدأ الإنساني: فكرة أنَّنا يمكن أن نستنتج استخلاصات عن قوانين الفيزياء الظاهرة مبنيّة على حقيقة أنَّنا موجودون.

Antimatter

المادَّة المضادَّة: كلُّ جسيم من المادَّة له نظير من الجسيم المقابل. إذا التقيا فسيدمِّر أحدهما الآخر ليخلفا طاقة صرفةً.

Apparent laws

القوانين الظاهرية: قوانين الطبيعة التي نلاحظها في كوننا ـ قوانين القوى الأربع، ومعايير كالكتلة والشحنة التي تميّز الجسيمات الأولية ـ في مقابل القوانين الأكثر أساسية للنظرية ـ "إم" التي تسمح بوجود أكوان مختلفة بقوانين مختلفة.

Asymptomatic freedom

حرية بلا أعراض: خاصية لدى القوّة الشديدة التي تجعلُها أضعف على مدى المسافات القصيرة. ومن ثَمَّ بالرغم من أنَّ الكواركات مرتبطة في النويات بالقوّة القوّية، فإنَّها يمكن أن تتحرَّك ضمن النويات غالبًا كما لو أنَّها لا تشعر بأية قوّة على الإطلاق.

Atom

الـذرّة: الوحدة الأساسية للمادة الطبيعية، تتكوّن من نواة بها بروتونات ونيوترونات ومحاطة بإلكترونات تدور حولها.

Baryon

باريون: نوع من الجسيمات الأولية، مثل البروتون والنيوترون، مصنوع من ثلاثة كواركات.

Big bang

الانفجار الكبير: البداية الكثيفة والساخنة للكون. وتفترض نظرية الانفجار الكبير أنَّه منذ 13.7 مليار سنة فإنَّ جزء العالم الذي يمكننا رؤيته اليوم كان في حجم مليمترات قليلة فقط. واليوم فإنَّ الكون أبرد وأكبر بشكل مهول، لكنَّنا نستطيع ملاحظة بقايا تلك الحقبة المبكرة من إشعاعات الخلفية الكونية للأشعة قصيرة المدى التي تنتشر في كلِّ أنحاء الفضاء.

Black hole

الثقب الأسود: منطقة في الزمكان، ونتيجة لقوّة جاذبيّتها المهولة، فإنَّها معزولة عن بقيَّة الكون.

Boson

بوزون: جُسيم أوليٌّ يحمل طاقة.

Bottom-up approach

مقاربة من أسفل لأعلى: في علم الكون، تقوم الفكرة على افتراض أنَّ هناك تاريخًا مفردًا للكون، بنقطة بداية محدّدة جدًّا، وبأنَّ حالة الكون اليوم هي تطوُّر من تلك البداية.

Classical physics

الفيزياء الكلاسيكية: أيّ نظرية فيزيائية تفترض أنَّ للكون تاريخًا مفردًا محدّدًا جدًّا.

Cosmological constant

الثابت الكوني: قيمة ثابتة في معادلات آينشتاين يعطي للزمكان قابليته المتأصِّلة للتمدّد.

Effective Theory

نظرية التأثيرات: نظرية علمية تقترح وصف مجموعة معينة من الملاحظات، وبشكل معلن لا تزعم أن آلياتها الفاعلة يوجد لها مقابل في المسببات الفعلية لتلك الملاحظات المرصودة.

Electromagnetic force

القوّة الكهرومغناطيسية: ثاني أقوى قوّة من قُوى الطبيعة الأربعة. وهي تعمل بين الجسيمات المشحونة كهربائيًّا.

Electron

الإلكترون: هو جسيمٌ أوليٌّ للمادّة له شحنة سالبة ومسئولٌ عن الخصائص الكيميائية للعناصر.

Fermion

الفيرميون: نوعٌ من الجسيمات الأوّلية للمادّة.

Galaxy

المجرَّة: نظامٌ ضخمٌ من النجوم والمادّة بين النجمية ومن المادّة السوداء، والتي ترابط جميعها بالجاذبية.

Gravity

الجاذبية: أضعفُ قوّةٍ من قُوى الطبيعة الأربعة. وهي الطريقة التي تتجاذب بها الأشياء ذات الكتلة.

Heisenberg uncertainty principle

مبدأ الريبة لهايزنبرج (او **مبدأ اللايقين**): قانونٌ في ميكانيكا الكَمِّ ينصُّ على أنَّ زوجًا معيّنًا من الخصائص الفيزيائية لا يمكن فهمه بشكل متزامن بدقّة متعسّفة.

Meson

ميزون: نوعٌ من الجسيمات الأولية المصنوعة من الكوارك والكوارك المضادّة.

M-theory

النظرية- "إم": هي نظرية أساسية في الفيزياء مرشَّحة لأن تكون نظرية كلّ شيء.

Multiverse

متعدد الأكوان: هو عبارة عن المجموعة الافتراضية المكونة من عدة أكوان - بما فيها الكون الخاص بنا - وتشكل معاً الوجود بأكمله.

Neutrino

نيوترينو: جسيمٌ أوليٌّ خفيفٌ جدًّا يتأثّرُ فقط بالقوّة النووية الضعيفة وبالجاذبية.

Neutron

نيوترون: نوع من البايرون المحايد كهربائيًّا، والذي يشكل مع البروتون نواة الذرة.

No-boundary condition

حالة اللاحدود: شرط أساسيٌّ تكون فيه تواريخ الكون أسطُحًا مغلقة دون حدود.

Phase

الطور: موضع في دورة الموجة.

Photon

الفوتون: بوزون يحمل القوّة الكهرومغناطيسية. وهو جسيم الضوء الكمّي.

Probability amplitude

مقدار الاحتمالية: في نظرية الكمّ، هو العدد المركَّب الذي يُعطي مربع قيمتِه المطلقة الاحتمالية.

Proton

البروتون: نوعٌ من البيرونات موجبة الشحنة التي تُكوِّن مع النيوترون نواة الذرة.

Quantum theory

نظرية الكمّ: نظرية لا تمتلك فيها الأشياء تواريخَ مفردةً محدّدةً.

Quark

الكوارك: جسيم أوليٌّ له جزء من الشحنة الكهربائية التي تشعُر بالقوّة القوية. وتتكوّن كلٌ من البروتونات والنيوترونات من ثلاثة كواركات.

Renormalization

إعادة التطبيع: تقنية رياضية مُصمَّمة لعقلنة اللانهائيات التي تنشأ في نظريَّات الكَمِّ.

Singularity

المفردة: نقطة في الزمكان تصبح عندها المقادير الفيزيائية لانهائية.

Space-time

الزمكان: فضاء رياضي يجب أن تتحدَّد نقاطه بكلٍّ من أنساق المكان والزمان.

String theory

نظرية الأوتار: نظرية فيزيائية توصف فيها الجسيمات كأشكال من الاهتزازات التي لديها طول ولكن بلا ارتفاع أو عرض ـ كقطع رفيعة بشكل لانهائي من الوتر.

Strong nuclear force

القوة النووية القوية: الأقوى من بين قوى الطبيعة الأربعة. تلك القوة تُمسك البروتونات والنيوترونات داخل نواة الذرّة. وهي تُمسك أيضًا البروتينات والنيوترونات أنفسها، وهو الأمر الضروري حيث إنَّها مصنوعة من جسيمات أدقّ، تسمى الكواركات.

Supergravity

الجاذبية الفائقة: نظرية للجاذبية لديها نوع من التماثُل يُسمَّى التماثُل الفائق.

Supersymmetry

التناظر الفائق: نوعٌ بارعٌ من التماثُل لا يمكن أن يكون مصحوبًا بتحوُّل في الفضاء العادي. وأحد التطبيقات المهمّة للتماثل الفائق هو أنَّ جسيمات القوّة وجسيمات المادّة، ومن ثم فإن القوّة والمادّة، هما في الحقيقةً مُجرّدُ وجهين للشيء نفسه.

Top-down approach

المقاربة من أعلى لأسفل: مقاربة في علم الكون يقوم فيها المرء بتتبُّع تواريخ الكون من "**أعلى لأسفل**" أي رجوعًا من الوقت الحاضر.

Weak nuclear force

القوّة النووية الضعيفة: إحدى القوى الأربعة الموجودة في الطبيعة. والقوّة الضعيفة مسئولة عن النشاط الإشعاعي وتلعب دورًا حيويًّا في تكوين العناصر في النجوم وفي الكون المبكّر.

عن المؤلفين

ستيفن هوكينج

عمل كأستاذ للرياضيات بجامعة كامبريدج لمدة ثلاثين عامًا، وحصل على عدد كبير من الجوائز وشهادات التقدير، كان آخرها الميدالية الرئاسية للحرية. وتتضمن كتبه الموجهة للقارئ العادي كتابه الكلاسيكى "تاريخ موجز للزمان"، ومجموعة المقالات التي ضمنها في كتاب "الثقوب السوداء والأكوان الوليدة"، وكتاب "الكون في قشرة جوز"، وكتاب "تاريخ أكثر إيجازًا للزمان".

ليونارد ملودينو

عالم فيزياء في جامعة كالتاك، ومؤلف الكتاب الأكثر مبيعًا "مشية السكير: كيف تتحكم العشوائية في حياتنا"، وكتاب "أرملة إقليدس: قصة الهندسة من الخطوط المستقيمة للفضاء متعدد الأبعاد"، وكتاب "قوس قزح فاينمان: بحث عن الجمال في الفيزياء والحياة"، وكتاب "تاريخ أكثر إيجازًا للزمان"، كما كتب أيضًا لمسلسل الخيال العلمي الأمريكي "ستار تريك: الجيل القادم"، ويعيش في جنوب باسادينيا في ولاية كاليفورنيا.

عن المترجم

أيمن أحمد عياد

طبيب مصري من مواليد محافظة الشرقية 1976، حصل على ماجستير الجراحة العامة في كلية الطب جامعة عين شمس 2004. عمل متطوعًا في مجال الدفاع عن حقوق الإنسان في مصر، وله عدد من التقارير والمقالات المترجمة في هذا المجال. وهو معني حاليًا بالترجمة العلمية، وقد صدر له كتاب "فك شفرة الكون".

ليونارد مولدينوو

التصميم العظيم

نتساءل حول هذا "التصميم العظيم" للكون. نحدّق باتجاه السماوات الشاسعة ونسأل أنفسنا أسئلة مثل: متى وكيف بدأ الكون؟ كيف يمكننا فهم العالم الذي وَجدنا أنفسنا فيه؟ كيف حصل كل ذلك؟...

تلك كانت أسئلة الفلسفة، وقد صارت اليوم أسئلة العلم. في هذا الكتاب يقدّم ستيفن هوكينج وليونارد مولدينوو أحدث الأفكار العلميّة عن ألغاز الكون المستمرة، بلغة تتميز بالوضوح والعلمية والبساطة. فيشرحان الاجابات التي فرضتها الاكتشافات والنظريات العلميّة منذ آينشتاين الى فيزياء الكَمّ إلى النظريّة إم. فالصورة الكلاسيكية عن حركة الأجسام لا يمكنها تفسير ما يبدو سلوكاً عجيباً على المستويات الذريّة وما دون الذريّة، فكان ضرورياً وجود إطار مختلف يسمّى فيزياء الكمّ. لكن هذه الفيزياء تقوم على مفاهيم مختلفة جداً عن الواقع كما نفهمه أو نراه.

بحسب نظرية الكَمّ ليس للكون وجود أو تاريخ واحد فقط. وهي فكرة مفادها أننا مجرّد كون من أكوان عديدة لكل منها قوانين طبيعية مختلفة. والنظريّة إم تقدّم تفسيراً للقوانين التي تحكم كوننا، المرشّح الوحيد الموجود "لنظرية كل شيء"، وهي النظرية الموحّدة التي كان يبحث عنها آينشتاين، والتي إن ثبتت، فإنها ستمثّل انجازاً عظيماً للفكر الإنساني.



ISBN 978-9973-33-403-9

التنوير للطباعة والنشر والتوزيع
بيروت - القاهرة - تونس

دار محمد علي للنشر
تونس